

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA PARA LA GENERACIÓN DE  
BLANCOS EXPLORATORIOS EN EL DISTRITO DE  
CARAVELÍ, AREQUIPA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Juan Francisco Gonzales Medina

Bach. Jhonatan Luis Marquina Alfaro

Asesor:

M.Sc. Daniel Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2020



## **DEDICATORIA**

A Dios, y a mis padres por brindarme la fortaleza, perseverancia, dedicación y por los valores inculcados en mi vida durante mi formación profesional, ya que permitió desarrollarme en lo personal y académico para lograr mis objetivos

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos principalmente a Dios por encaminarnos por el camino correcto, a nuestras familias quienes nos enseñaron los valores de la vida y a nuestro asesor por brindarnos sus consejos en base a su experiencia, sin ellos el presente trabajo no hubiese sido posible.

## TABLA DE CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>DEDICATORIA.....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTO .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>RESUMEN .....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>                                  | <b>9</b>  |
| 1.1. Realidad problemática .....                                      | 9         |
| 1.2. Formulación del problema .....                                   | 14        |
| 1.3. Objetivos.....   | 14        |
| 1.3.1. Objetivo general.....  | 14        |
| 1.3.2. Objetivos específicos.....                                     | 14        |
| 1.4. Hipótesis .....  | 14        |
| 1.4.1. Hipótesis general.....   | 14        |
| <b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>                                  | <b>15</b> |
| 2.1. Tipo de investigación .....                                      | 15        |
| 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos ..... | 16        |
| <b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>                                  | <b>25</b> |
| <b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>                    | <b>50</b> |
| 4.1. Discusión .....  | 50        |
| 4.2. Conclusiones .....   | 53        |
| <b>REFERENCIAS.....</b>   | <b>55</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>56</b> |

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Vértices del área de Estudio. WGS84-19S .....         | 23 |
| Tabla 2. Acceso a Caravelí.....                                | 23 |
| Tabla 3. Datos obtenidos de la prueba kolmogorov-smirnov ..... | 29 |
| Tabla 4. Ubicación de blancos exploratorios. ....              | 46 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Tarjeta de muestreo para suelos.....                         | 17 |
| Figura 2. Plano de satelital y de ubicación de la zona de estudio..... | 24 |
| Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio. ....                   | 26 |
| Figura 4. Pruebas de Normalidad de elementos. ....                     | 28 |
| Figura 5. Histogramas de valores no normalizados. ....                 | 30 |
| Figura 6. Histogramas de la data normalizada. ....                     | 31 |
| Figura 7. Valores atípicos de Mo-W-Ag-U-Au.....                        | 32 |
| Figura 8. Valores atípicos del Zn-Cr-Cd-Pb .....                       | 33 |
| Figura 9. Valores atípicos de Mn,Ba, P, y Cu. ....                     | 34 |
| Figura 10. Gráficas de dispersión entre dos elementos.....             | 35 |
| Figura 11. Gráficas de contorno de Zn-Mn-Co y Cu-Pb-Zn.....            | 36 |
| Figura 12. Gráfica de contorno de Sb-Ag-Bi .....                       | 37 |
| Figura 13. Análisis multivariado usando correlación de Pearson.....    | 38 |
| Figura 14. Análisis cluster mediante dendograma.....                   | 39 |
| Figura 15. Ventanas deslizantes en nuestros puntos de muestreo. ....   | 40 |
| Figura 16. Anomalías de Ag mediante el LREI y Kernel. ....             | 42 |
| Figura 17. Mapa multielemental usando RGB. ....                        | 44 |
| Figura 18. Mapas de blancos exploratorios.....                         | 48 |
| Figura 19. data analizada del proyecto.....                            | 56 |
| Figura 20. Mapa metalogénico de la zona de estudio. ....               | 57 |
| Figura 21.Procedimiento para calcular los valores anómalos. ....       | 58 |
| Figura 22. Cálculo de LREI a distintos elementos. ....                 | 59 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |    |
|---|----|
| Ecuación 1. LREI empleando la mediana ..... | 40 |
|---|----|

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es realizar una prospección geoquímica para la generación de blancos exploratorios en el distrito de Caravelí, Arequipa para el año 2020. La técnica que se utilizó para la recolección de información fue observación directa en campo. El instrumento para la recolección de datos fue una tarjeta de muestreo que fue adaptado por parte del INGEMMET. Se realizó muestreo de suelos considerando la parte superior del horizonte B. Las muestras recolectadas se enviaron al laboratorio para su análisis respectivo, posteriormente se hizo el análisis geoquímico por Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS). Con la data entregada del laboratorio, y su posterior análisis mediante el empleo del método robusto de ventana deslizante con estadísticas del vecino cercano. Se confeccionó mapas de anomalías geoquímicas, mapas multielementales y de coeficientes metálicos. Para el tratamiento estadístico de los datos con los elementos mencionados, se utilizó el software estadístico Minitab 18.2 y el software Geoquímico ioGAS. Posterior al análisis estadístico, se calcularon las anomalías geoquímicas dándonos un valor del LREI para cada valor de los elementos, Luego se realizaron los mapas de anomalías usando el método de interpolación de Kernel. Para complementar, se realizó un mapa multielemental considerando elementos pathfinders como el Sb, As y Hg reconociendo las zonas calientes evidenciando actividad hidrotermal. De esta manera se ubicaron los blancos exploratorios con posible potencial económico.

Palabras clave: Prospección, geoquímica, blancos exploratorios.



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La prospección es la etapa inicial para la búsqueda de depósitos minerales, constituida de la geoquímica, y la geofísica, siendo la primera más efectiva; para el inicio de la prospección geoquímica, se emplea una evaluación regional y luego una prospección táctica más local; sin embargo, en los últimos años alrededor del mundo se ha venido realizando más las prospecciones tácticas generando que las evaluaciones sean más locales y con sesgo en los resultados (Renguang, 2012).

La geoquímica es una rama de la ciencia que se ocupa del contenido y distribución de elementos químicos en minerales, menas, rocas, suelos, aguas y la atmósfera. También estudia la circulación de estos elementos químicos en la naturaleza basándose en las propiedades de sus átomos e iones (Goldschmidt, 1954).

La geoquímica de prospección/exploración es una rama de la geoquímica aplicada que utiliza elementos químicos, propiedades y distribución en la naturaleza para localizar y caracterizar depósitos minerales económicos (Gandhi, 2017)

Las técnicas convencionales son técnicas tradicionales. En este contexto, son métodos ordinarios para buscar minerales. Por ejemplo, si alguien está buscando oro, plomo o zinc debe empezar con trabajos regionales utilizando muestreo de sedimentos de arroyo o de suelos, esta forma convencional a permitido detectar zonas anómalas (Caolen Kourt, 1990).

Los exploradores de minerales han utilizado varias formas en el pasado para localizar depósitos minerales. Una de las técnicas clave se ha invertido en el establecimiento de anomalías geoquímicas. Una anomalía geoquímica se puede definir generalmente como una

zona o un área de valores anormales altos o bajos de elemento (s) o mineral (s) en cuestión en comparación con los valores de fondo de los elementos generales. Los métodos convencionales generalmente se enfocan en la detección de anomalías geoquímicas positivas e ignoran las anomalías geoquímicas negativas relacionadas con la mineralización (Xiong et al., 2018; Zuo y Xiong, 2018)

En la exploración cercana a la mina, el halo de concentración primaria alrededor de cualquier depósito se usa para dirigir hacia el potencial mineral. Cuando el depósito se ha degradado, la señal de los fragmentos minerales degradados o elementos solubles se puede utilizar para detectarlo en suelos, arroyos, lagos o sedimentos glaciales, basándose en el conocimiento de la movilidad elemental. La preparación de muestras, la digestión química y los métodos analíticos están optimizados para detectar esta señal. Estos métodos funcionan mejor donde la sobrecarga es residual y debe combinarse con datos geofísicos y geológicos. (Gandhi , 2017)

Los métodos geoquímicos utilizados en la exploración de minerales han avanzado para mapear grandes áreas del mundo, a menudo con un amplio espaciado de muestra. Además de proporcionar una indicación regional del potencial mineral, estos estudios indican líneas de base ambientales para el desarrollo mineral y de otro tipo. (Athanas Simon , Xiaohui , Dalaly Peter, & Fen , 2020)

El análisis exploratorio sobre una data geoquímica puede identificar valores extremos, la normalidad de los datos o su normalización mediante transformaciones, la evaluación de la distribución de las variables y la existencia de correlaciones entre ellas, para posterior realizar un cartografiado geoquímico que nos permita delimitar zonas grandes. Actualmente, se emplea métodos estadísticos como gap estadístico, ventana deslizante y,

porque permiten concentrar mejor las anomalías, porque dividen por poblaciones las muestras (Mestas, 2019).

Los elementos exploradores o guías, permite la búsqueda de depósitos minerales, asociando los grados de movilidad de los elementos, controladas por las características de la fase móvil y la migración de esta. Estos elementos forman pares o grupos y consistentemente muestran una estrecha relación indiferente del ambiente en el cual ellos ocurren. En muchos casos, esto es debido a que el elemento menos abundante sustituye libremente en la retícula del cristal formado por el socio más abundante, lo cual facilita la búsqueda del mineral puesto que estos elementos forman un halo más amplio y son más fáciles de detectar (Jackson & Bates , 1984).

Según un estudio por Yang et al. (2013) en un depósito tipo pórfido Cu en el Tibet, se realizó geoquímica de suelo, recolectando 25 muestras de suelo y 10 muestras de lecho roca erosionado en perfiles verticales cortando el pórfido, y asimismo como prueba del mapeo geoquímico del suelo y su poder de revelar las características de zonificación de los pórfidos se recolectó un total de 224 muestras con un peso de 2 a 3 kg en una malla de 200x100m que cubren un área de 6 km<sup>2</sup>. Se hizo el análisis por ICP-MS, ICP-OES y AAS para detectar límites bajos y altos, y posterior a realizar los mapas anómalos detectó anomalías de Mo, W, Ag y Au que ayudan a indicar la posición de los cuerpos minerales, y se determinó los elementos As, Sb, Bi, Cu, Mo, y Pb como guías del Pórfido de Cu.

Guimaraes et al. (2016), tuvo como objetivo identificar posibles prospectos cercanos a una mina en Almas, Brasil, en un área mineralizada de oro donde el mineral de afloramiento ya no está disponible y los suelos tropicales cubren el área, para ello recolectaron 2908 muestras cubriendo un área de 88 km<sup>2</sup> y se hizo un análisis ICP-MS , y se empleó métodos

multivariados comunes como análisis factorial que fue capaz de distinguir las influencia máfica, el análisis de conglomerados jerárquicos y análisis de conglomerados k análisis proporcionaron grupos precisos de elementos, generando así asociación de elementos como Ba,Ca,La, Na, Pb y Sr, lo cual permitió identificar cuatro nuevas áreas objetivo mostrando así la eficiencia de los métodos multivariados para escenarios de exploración cerca de minas.

De la misma manera Yuan et al. (2012), en su estudio realizado en Yangtze, China, aplicando Prospección Geoquímica que utiliza la distribución de Au-Cu en suelos en un distrito minero, para ello, se recolectó 390 muestras del horizonte A en una malla de 2 x 2km y un total de 95 muestras del horizonte C en una malla de 4 x 4km, y se utilizó el análisis ICP.MS por su precisión analítica entre 1 y 3%. Para este estudio se emplearon métodos de interpolación de Krigin y Krigin multifractal y se obtuvo una buena separación de muestras anómalas de concentraciones de fondo, y las anomalías geoquímicas de Au-Cu asociados con la mineralización se distinguieron más consistentemente, demostrando que los métodos de interpolación son eficaces para áreas donde la capa superficial de suelos puede estar contaminada por actividades antropogénicas como los distritos mineros maduros.

Otro estudio presentado por Yaylalı-Abanuz (2013), para determinar anomalías relacionados a la mineralizado de Sb en Turkey, se tomó 138 muestras del horizonte A y B y se analizaron por ICP AES y MS, para ello se efectuó un análisis descriptivo como media, moda, asimetría, y se probó la normalidad de los datos con K-S (Kolmogorov-Smirnov), y para determinar la relación de elementos se aplicó el análisis de conglomerados jerárquicos mediante Pearson, y se elaboró los mapas anómalas usando valores de Threshold y Umbral, todo lo realizado indicó que el As+ Au y Ag+ As+ Au, son los elementos múltiples ideales para la exploración de depósitos de Sb.

En el Perú, un estudio realizado por Cornelio y Ríos (2012), en el distrito de Pallasca-Ancash, se generó blancos exploratorios a partir de cálculos estadísticos en la data de muestreo en sedimentos de quebrada por parte del INGEMMET, normalizando la data con logaritmo neperiano, definiendo valores geoquímicos de background y threshold, y cálculos de regresión lineal para los elementos Au, Ag, Cu y Mo, permitiendo ochos zonas de mineralización convirtiéndose en potenciales áreas para realizar trabajos de exploración más detallados a futuros.

En el distrito de Caravelí perteneciente a la costa arequipeña, en la actualidad el incremento de concesiones ha ido disminuyendo, pero hay zonas aún vacías que puedan tener potencial minero en IOCG y VMS, por eso urge un estudio prospectivo para localizar blancos exploratorios o de interés.

El desarrollo de esta investigación permitirá plantear de forma preliminar un modelo geoquímico predictivo basado principalmente en las leyes anómalas de las muestras de la zona de estudio, permitiendo localizar zonas con potencial minero económico, y contribuirá a que empresas que estén buscando zonas o blancos puedan acceder a ello, y posteriormente concesionar la zona si es que estuviese vacía, y ello generará al desarrollo de la región de Arequipa que tiene potencial en la zona costera. También, brindará información relevante que permitirá a estudiantes y profesionales interesados en la exploración geológica a obtener información actualizada en el tema de la geoquímica, y emplearla como antecedente para trabajos posteriores.

## **1.2. Formulación del problema**

Con respecto a lo expuesto, se puede formular la siguiente pregunta: ¿De qué manera la Prospección geoquímica genera blancos exploratorios en el distrito Caravelí, Arequipa 2020?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Generar blancos exploratorios al realizar una prospección geoquímica en el distrito de Caravelí, Arequipa 2020.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la prueba de normalidad de los datos de los elementos analizados.
- Correlacionar elementos guías de la zona de estudio mediante un análisis univariado, bivariado y multivariado.
- Emplear el método robusto de ventana deslizante con estadísticas del vecino cercano para homogeneizar y dividir la data en diferentes poblaciones.
- Definir y localizar las zonas anómalas mediante la elaboración de mapas de anomalías geoquímicas y multielementales.
- Realizar un mapa de blancos exploratorios con la descripción metalogénica-geología de la zona estudio y apoyo de mapas satelitales y de anomalías.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Nuestra presente investigación tiene como hipótesis general: al realizar una prospección geoquímica se podrá generar los blancos exploratorios en el distrito de Caravelí, Arequipa 2020.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de tesis es del tipo aplicada, debido a que permitirá entender el comportamiento de la distribución de elementos y como éstas influyen en el acercamiento a una posible zona mineral, y de acuerdo con el alcance es una investigación correlacional, ya que se buscará relacionar la prospección geoquímica con la búsqueda de blancos exploratorios mediante el muestreo geoquímico, análisis geoquímico, y el tratamiento estadístico de los datos.

De acuerdo con el enfoque, es del tipo cuantitativo, ya que se emplearán magnitudes numéricas en base a resultados de laboratorio, y serán tratadas mediante el uso de la estadística como histogramas, diagramas de valores atípicos, dendogramas, correlaciones, graficas de dispersión y de contornos, y pueden ser representadas mediante mapas.

Presenta un diseño no experimental ya que el trabajo se basa en realizar observaciones en campo y tomar muestras en lugares idóneos para que sea representativa del área de estudio y delimitar las zonas de interés, y es de corte transversal porque los datos tomados se realizarán en un único momento.

### 2.2. Población y muestra

Nuestra población la conforman las concesiones que están presentes en el distrito de Caravelí con un total de 38500 has.

Se realizó un muestreo por parte del INGEMMET (2009), donde se empleó un muestro sistemático con una malla de 300x500m, y se obtuvo muestras de suelos del horizonte B de 2.5 kg aprox., y se recolectó 3046 muestras.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica que se utilizó para la recolección de información fue observación directa en campo, debido a que en el campo se hizo una observación del afloramiento y se tomó las muestras de los lugares más representativos, de acuerdo con la malla elaborada, la densidad de muestreo, el afloramiento geológico en la que nos encontramos y si presenta algún tipo de alteración hidrotermal. Asimismo, el instrumento para la recolección de datos fue una tarjeta de muestreo que fue adaptado por parte del INGEMMET mostrando validez, debido a que los ítems están diseñados para obtener una muestra representativa del lugar, así como el contenido que permitió codificar las muestras tomadas, tener un código guía en la propia tarjeta y otro código si es que en el futuro se planea remuestrear la zona.

La tarjeta muestra además muestra confiabilidad y equidad, ya que se podrá colocar la ubicación, el tipo de muestreo, el método de análisis que se realizará, el tipo de roca, la alteración, mineralogía, la zona de donde se está tomando, una descripción, un croquis para el orden de muestras, el tipo de estructura, y un ítem especial para hacer el control de la contaminación de la muestra mediante duplicado, blancos, y estándares. A la vez, incluye para colocar los resultados de los análisis de los elementos guías(*pathfinders*), y fórmula química, mostrando así que todos los ítems sean valorados de la misma manera (ver figura 1).



| N:0001   |  |   |         |
|--|--|---|---------|
| TARJETA DE MUESTREO SISTEMATICO/NO SISTEMATICO-CAMPO   |  |   |         |
| Fecha:<br>/ /  | Prospecto:                               | Coordenadas:<br>E                  N                  C   |         |
| Paraje:  | Distrito                                 | Provincia:  | Región: |
| Expl_Brownfield <input type="checkbox"/>   | Expl_Greenfield <input type="checkbox"/> | Tipo de muestra<br>Primaria <input type="checkbox"/> Duplicado <input type="checkbox"/> Blanco <input type="checkbox"/> Estandar <input type="checkbox"/> |         |
| Método      Tipo de material<br>Sistemático <input type="checkbox"/> Canal <input type="checkbox"/> Rock chip <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/><br>Aleatorio <input type="checkbox"/> Cancha <input type="checkbox"/> Sedimentos de arroyo <input type="checkbox"/><br>Panel <input type="checkbox"/> Suelos <input type="checkbox"/> Dimensiones <input type="text"/> |  | Afloramiento<br><br>Subafloramiento<br><br>Subterráneo  |         |
| Tipo de Análisis   |  | ICP-MS <input type="checkbox"/> ICP-AES <input type="checkbox"/> AAS <input type="checkbox"/>   |         |
| Lit_Esp: <input type="text"/> Lit_textura <input type="text"/> Unidad <input type="text"/>   |  |   |         |
| Potencia   | Azimut                                   | Buzamiento  |         |
| Alteración   |  | Mineralización  |         |
| Composición Química:   |  |   |         |
| Estructura<br>Vlls <input type="checkbox"/> Vtlla <input type="checkbox"/> VT <input type="checkbox"/> Diss <input type="checkbox"/> CPO <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>   |  |   |         |
| Descripción<br><br>Resultados de elementos guías (ppm)<br>As <input type="text"/> Sb <input type="text"/> Te <input type="text"/> Bi <input type="text"/> Fe <input type="text"/><br>Zn <input type="text"/> Pb <input type="text"/> Au <input type="text"/> Ag <input type="text"/> Cu <input type="text"/>   |  | Croquis   |         |
| 3  |  | N:0001  |         |
| 2  |  | N:0001  |         |
| 1  |  | N:0001  |         |

*Figura 1.* Tarjeta de muestreo para suelos.

Para lograr que el presente trabajo cumpla con los tiempos establecidos y de manera correcta, se programaron las siguientes etapas de estudio.

## **Etapas Pre-campo**

### Búsqueda bibliográfica

Esta etapa consiste en realizar una investigación documental para profundizar en el enfoque teórico de nuestras variables, para ello se hará una revisión en prestigiosas revistas a nivel mundial como Science Direct, Springer, Redalyc, considerando que las investigaciones encontradas estén relacionadas directamente con nuestras variables y que hayan sido publicadas en los últimos diez años.

De igual manera, para conocer y entender la zona de estudio, se empleará búsquedas, revisiones, y análisis en trabajos realizados por el INGEMMET sobre el cuadrángulo de Caravelí 31p, y se extraerá documentos de la Sociedad Geológica del Perú sobre la Geología de Arequipa.

### Diseño para el programa de muestreo

Para la planificación del programa de muestreo se realizó los siguientes procesos:

- Realizar mapas satelitales, para la identificación de zonas de alteración hidrotermal, y zonas donde haya afloramientos de rocas para delimitar la zona de estudio.
- Se procede a colocar puntos de muestreo de acuerdo al afloramiento, de manera selectiva cuando haya buen afloramiento rocoso y evidencia de alteración hidrotermal, y de manera sistemática en quebradas.
- Para el muestreo sistemático en suelo se hizo una malla de 300x500 m donde los puntos estuvieron georreferenciados en un mapa topográfico con coordenadas WGS84.

- Se realizó el formato de muestreo donde incluya el método de muestreo, tipo de muestra, el tipo de material, la localización, las dimensiones, y el análisis geoquímico que se realizará.

### **Trabajo de campo**

Consistió en realizar muestreo por suelos construida inicialmente en el distrito de Caravelí, con la finalidad que abarque toda la zona la costa de Caravelí distancia de 500m, considerando la parte superior del horizonte B ya que tiene una movilidad de 200-500 m y sea representativa.

Todas las muestras se codificaron en las bolsas de acuerdo a la tarjeta de muestreo, y se insertarán controles como blancos gruesos, duplicados, y estándares, ellos serán el 10% de la muestra total.

### **Trabajo en Laboratorio**

Las muestras recolectadas en campo se enviarán al laboratorio y serán tratadas con una digestión de agua regia 3:1 de ácido clorhídrico y ácido nítrico para la lectura de 36 elementos, y posterior se hará el análisis geoquímico por Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS).

### **Trabajo de gabinete post-campo**

Una vez realizado el cartografiado geológico detallado en campo, se procederá a realizar el mapa usando un software SIG como el ArcGIS, y en la elaboración se irá interpretando la secuencia de las estructuras, así como la parte litológica.

De igual manera, con la data entregada del laboratorio, y su posterior análisis mediante el empleo del método robusto de ventana deslizante con estadísticas del vecino cercano, se obtendrá diferentes parámetros que nos permitirá realizar mapas de anomalías geoquímicas, mapas multielementales y de coeficientes metálicos.

Para el análisis de datos se tomará en cuenta elementos tanto elementos calcófilos y siderófilos como: P, Cu, Mn, Zn, Pb, Co, Cd, As, Cr, Ni, Ba, W, Sb, Mo, Ag, Bi, Hg y Au, Para el tratamiento estadístico de los datos con los elementos mencionados, se utilizará el software estadístico Minitab 18.2 y el software Geoquímico ioGAS, y se realizará la siguiente secuencia:

1. Se hará un tratamiento estadístico a los datos para obtener parámetros como la media, desviación estándar, varianza, moda, para entender su distribución. De la misma manera, se realizará un análisis univariable para obtener histogramas, cajas de box-plot, gráficos de probabilidad, para conocer si nuestra data tiene un comportamiento normal o log normal.
2. Se emplea un análisis bivariado y trivariado, con gráficos de dispersión, gráfica marginal, diagrama de contornos, para observar si hay alguna relación entre dos o tres elementos, y conocer si entre tres elementos aumentan su contenido a la misma vez o no difieren entre ellas,
3. Se aplica una estadística multivariada, realizando correlaciones entre elementos por el método de Pearson, y generación de un dendrograma, de los elementos mencionados inicialmente, para entender el comportamiento entre ellos, y los posibles tipos de depósitos minerales que podemos encontrar en el prospecto.

Posterior a ello, se calcula las anomalías geoquímicas mediante el emplear el método robusto de ventana deslizante que tiene como fin dividir la población en subpoblaciones, dándonos un valor del LREI para cada valor de los elementos, y ello, permitirá realizar los mapas de anomalías usando el método de interpolación de Kernel que es el más apropiado para una etapa prospectiva.

Para complementar, se realizará un mapa multielemental considerando elementos pathfinders como el Sb, As y Hg para reconocer las zonas calientes, y nos dé un indicio de la presencia de actividad hidrotermal.

Con los mapas mencionadas, se ubicarán los blancos exploratorios, que a futuro puede ser un potencial económico para la zona.

Los materiales que permitirán la recolección de datos son los siguientes:

- a. GPS Garmin: Importante para ubicar los puntos de la malla de muestreo, así como para el cartografiado geológico.
- b. Libreta de Campo: Utilizada para tomar apuntes en campo, así como para graficar las zonas de interés en la investigación.
- c. Picota de geólogo: se utiliza para extraer las muestras de roca para la descripción correspondiente.
- d. Lupa 20X: Nos permite observar mejor las muestras de roca y poder describir los minerales que presenta la muestra.
- e. Imágenes satelitales, mapa topográfico y carta geológica: sirven de base para el reconocimiento del área de estudio.
- f. Protractor: Nos permite ubicar lugares en el plano y graficar lineamientos, rumbo y buzamiento de los estratos.
- g. Bolsas de muestreo: Nos permite recolectar la muestra, teniéndola ordenada y sin que sufra roturas para mantenerla segura y sin contaminación.

Los aspectos éticos que se tomarán en cuenta en el desarrollo de nuestra investigación constan principalmente en:

- Proteger la propiedad intelectual de los autores, respecto a las teorías y conocimientos diversos, citándolos apropiadamente y precisando las fuentes bibliográficas.
- Estricta privacidad y confidencialidad en el manejo de la información.
- Para garantizar la validez de la tesis se incluirán técnicas de análisis adecuadas para producir datos fiables. De la misma manera, el diseño metodológico será adecuado a los objetivos que se proponen, que se seleccionen oportunamente los contextos y los informantes y que se interpreten apropiadamente los resultados.
- Aceptación y consentimiento informado de las personas involucradas en la investigación.
- Contar con las autorizaciones respectivas para sus publicaciones en los medios digitales correspondientes.

## Aspectos generales

Geográficamente el distrito de Caravelí se encuentra ubicado en la zona E de la ciudad de Arequipa, aprox. 120 km. Entre las cotas 3500 a 4200 m.s.n.m.

Tabla 1.

*Vértices del área de Estudio. WGS84-19S*

| VÉRTICE | ESTE   | NORTE   |
|---------|--------|---------|
| 1       | 605500 | 8285900 |
| 2       | 662800 | 8285900 |
| 3       | 605500 | 8207000 |
| 4       | 662800 | 8207000 |

El acceso al distrito de Caravelí se pueda dar desde la ciudad de Lima o desde la misma ciudad de Arequipa.

Tabla 2.

*Acceso a Caravelí*

| Ruta terrestre | Distancia (Km) | Tiempo<br>hr. | Vía                 | Condiciones<br>Técnicas |
|----------------|----------------|---------------|---------------------|-------------------------|
| Lima- Caravelí | 1182 km        | 17 h 42 min.  | Panamericana<br>Sur | Excelente               |
| Lima           | 382            | 6 h 28 min.   | Asfaltada           | Excelente               |





Figura 2. Plano de satelital y de ubicación de la zona de estudio.



### CAPÍTULO III. RESULTADOS

En la ciudad de Arequipa se encuentran unidades ígneas, sedimentarias y metamórficas con edades que van desde el Prepaleozoico hasta el Cuaternario Reciente. Estas unidades son:

Gabriodiorita de la caldera: Son rocas ígneas intrusivas que afloran en la parte sur de la ciudad. Granodiorita de Tiabaya: Estas rocas afloran en forma de elipses groseras en los cerros vecinos del distrito de Tiabaya. Volcánico Sencca Compacto: Constituido por un tufo blanco, compacto coherente y algo poroso. Es conocido con el nombre de sillar. Volcánico Sencca Salmón: Son tufos de color rosáceo, estratificados en bandos subhorizontales. Volcánico Chila: Conformado por derrames andesíticos y basálticos de color oscuro, altamente fracturados. Depósitos Piroclásticos: Son tobas volcánicas de color blanco amarillentas, deleznable, ásperas y de aspecto azucarado muy livianas. Materiales Aluviales que están conformados por arenas limosas de color beige, de origen residual, que constituyen los terrenos de cultivos

Por otro parte, la Geología Local de la zona de estudio está conformado por rocas antiguas gneiss del Complejo Basal de la Costa, seguidas por el Grupo Tarma, Mitu y Fm Moquegua de rocas clásticas continentales, luego por la secuencia de cuarcitas de la Fm. Hualhuani, derrames lávicos del Grupo Barroso, rocas monzograníticas del Batolito Ático Camaná relacionado a los IOCG, y rocas intrusivas de cretácico superior que se relacionan con la mineralización de Au-Pb-Zn-Cu, y el Batolito de la Costa de composición granodiorita, tonalita, monzonita que han sido los principales formadores de los yacimientos gigantes de Pórfido de Cu-Mo.

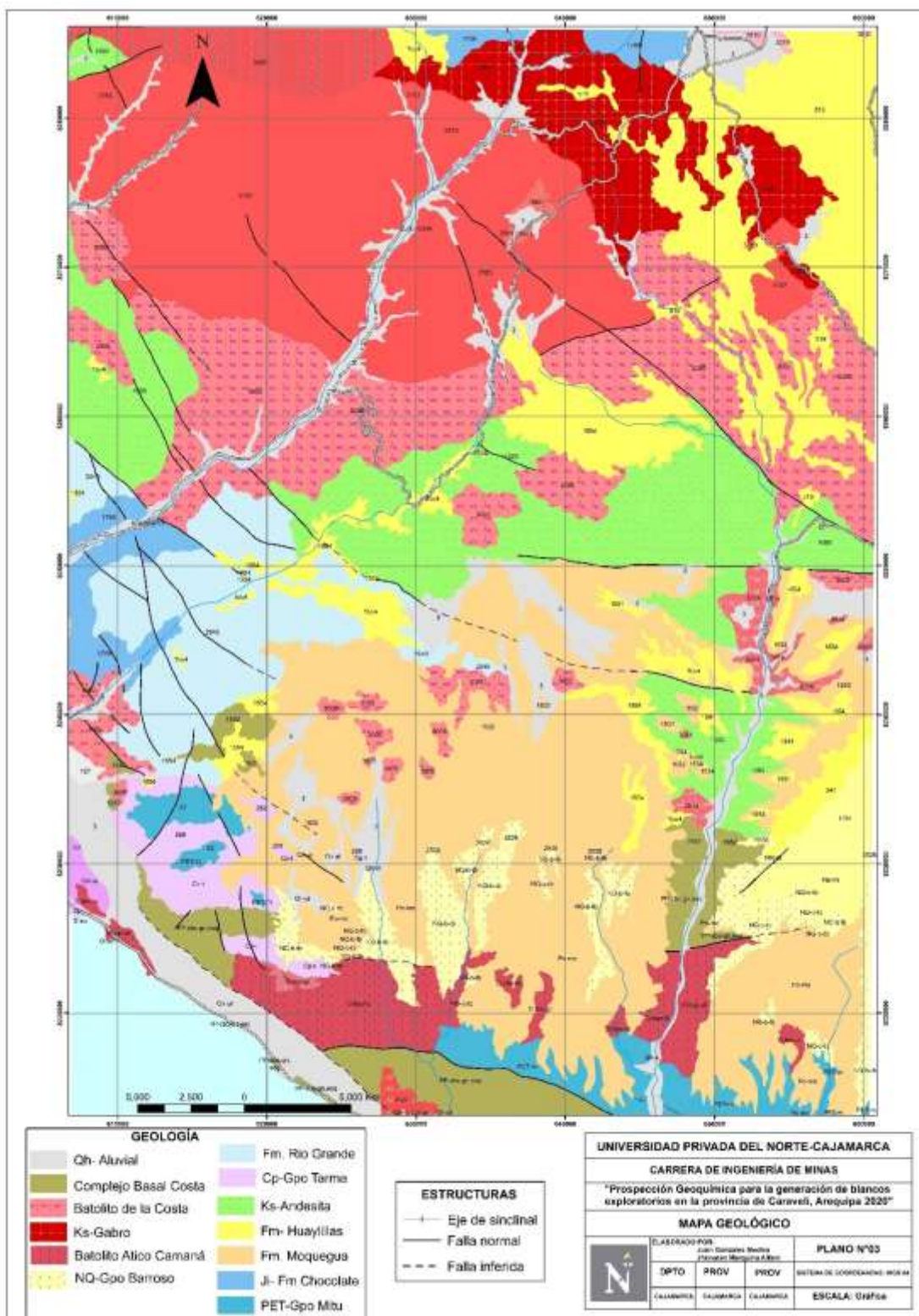


Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio.

Asimismo, es importante hablar de la metalogenia, debido a su importancia de relacionarse con las zonas anómalas del proyecto y la correlación de elementos pathfinder del distrito de Caravelí.

La Metalogenia de Caravelí está dominado por 3 franjas metalogénicas que también predominan en nuestra zona de estudio (Ver Anexo 2):

Franja V: Franja de depósitos de Cu-Fe-Au (IOCG) del Cretácico inferior

Se localiza a lo largo de la zona costera, en el dominio del Complejo Basal de la Costa del Precámbrico. Su principal control estructural es el sistema de fallas NO-SE Ica-Islay-Ilo, que constituyen el corredor del mismo nombre (Acosta et al., 2008). Los depósitos más importantes que constituyen esta franja son Marcona, Mina Justa y Rosa Maria, con edades de mineralización entre 165 y 160 Ma.

Franja IX: Franja de depósitos de Au-Pb-Zn-Cu relacionados con intrusiones de Cretácico superior.

Las estructuras mineralizadas de cuarzo-oro-sulfuros se encuentran hospedadas en granitoides del Cretácico superior del Batolito de la Costa

Franja X: Franja de pórfidos de Cu-Mo del Cretácico superior

En el centro y sur del Perú, la mineralización está relacionada con intrusivos graníticos del Cretácico superior del Batolito de la Costa y controlada por fallas NO-SE de los sistemas Conchao-Cocachacra, Cincha-Lluta e Incapuquio, así como por fallas menores con orientación N-S.

Vale mencionar, que en la data se obtuvo una proporción de datos censurados debido a que estos estaban encima del límite de detección. Los datos censurados son menores al 5%

del total de todas las muestras, por ello se aplicó, según Quintanilla (2017) la sustitución de esos valores por el 35% más del límite de detección, y fue para el caso del Mn.

Asimismo, se realizó la prueba de normalidad tomando en cuenta el p-valor de Kolmogorov-Smirnov asociado al D observado.

De esta manera realizando la prueba de normalidad para un nivel de significancia  $\alpha = 5\% = 0.05$ , se tendría como regla:

Si  $p\text{-valor} \geq 0.05 \rightarrow \text{Aceptar } H_0$

Si  $p\text{-valor} < 0.05 \rightarrow \text{Rechazar } H_0$

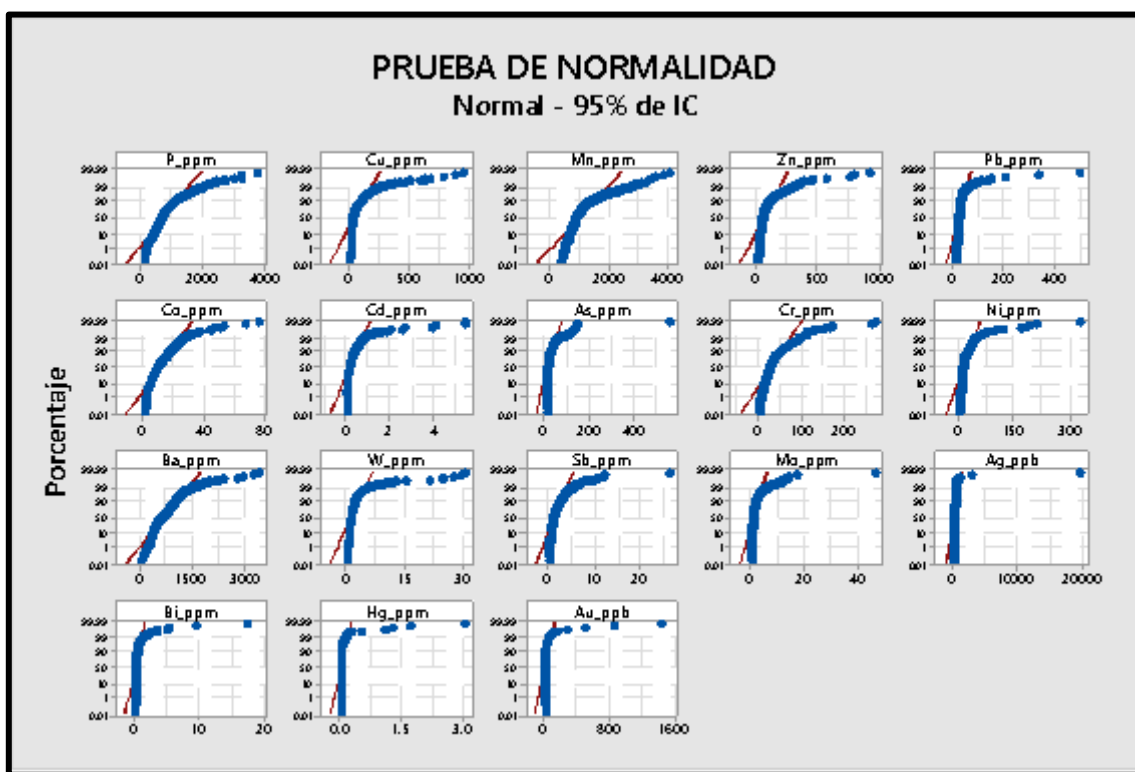
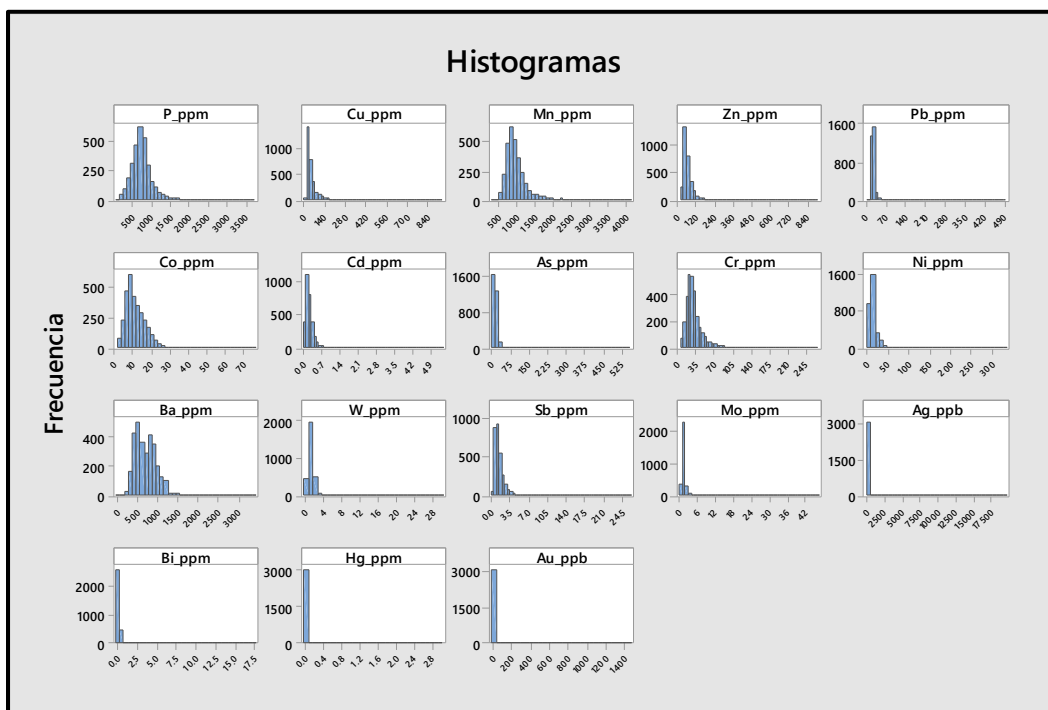


Figura 4. Pruebas de Normalidad de elementos.

Tabla 3.

*Datos obtenidos de la prueba kolmogorov-smirnov*

| Elemento | Kolmogórov-Smirnov |        |                     |         |                |
|----------|--------------------|--------|---------------------|---------|----------------|
|          | N° muestras        | Media  | Desviación estándar | P-valor | H <sub>0</sub> |
| Au_ppb   | 3146               | 12.06  | 21.8                | <0.005  | Se rechaza     |
| Ba_ppm   | 3146               | 127.3  | 110.5               | <0.005  | Se rechaza     |
| Cr_ppm   | 3146               | 8.86   | 5.052               | <0.005  | Se rechaza     |
| Cu_ppm   | 3146               | 37.57  | 81.9                | <0.005  | Se rechaza     |
| Mn_ppm   | 3146               | 1235   | 1786                | <0.005  | Se rechaza     |
| Zn_ppm   | 3146               | 233.4  | 308.8               | <0.005  | Se rechaza     |
| Ag_ppm   | 3146               | 0.3144 | 0.7128              | <0.005  | Se rechaza     |
| P_ppm    | 3146               | 588.4  | 477.7               | <0.005  | Se rechaza     |
| Sr_ppm   | 3146               | 43.15  | 58.14               | <0.005  | Se rechaza     |
| As_ppm   | 3146               | 30.78  | 47.94               | <0.005  | Se rechaza     |
| Bi_ppm   | 3146               | 0.455  | 0.9197              | <0.005  | Se rechaza     |
| Cd_ppm   | 3146               | 1.443  | 3.725               | <0.005  | Se rechaza     |
| Co_ppm   | 3146               | 16.63  | 18.51               | <0.005  | Se rechaza     |
| Hg_ppm   | 3146               | 0.2365 | 0.7094              | <0.005  | Se rechaza     |
| Mo_ppm   | 3146               | 8.666  | 19.07               | <0.005  | Se rechaza     |
| Ni_ppm   | 3146               | 24.66  | 17.41               | <0.005  | Se rechaza     |
| Pb_ppm   | 3146               | 58.21  | 129.3               | <0.005  | Se rechaza     |
| Sb_ppm   | 3146               | 3.282  | 7.973               | <0.005  | Se rechaza     |
| Sn_ppm   | 3146               | 1.033  | 1.091               | <0.005  | Se rechaza     |



*Figura 5. Histogramas de valores no normalizados.*

De la tabla 4 se tiene que el valor de  $p$  es menor a 0.05, por ende, se rechaza la  $H_0$ , y se concluye que la data tiene un comportamiento log-normal mostrando así que no tiende a una buena homogeneidad, es por esa razón, que se normalizó la data con el logaritmo neperiano para que se acerque a una distribución normal bivariada. Según Aquides (2011), también menciona que todos los datos geoquímicos deben ser normalizados ya que el espacio geológico siempre es diferente en cada lugar.

Asimismo, de la figura 5 podemos ver el comportamiento de los diferentes elementos que no tienen una simetría cercana a la campana de Gauss, por ello se requiere que estos sean normalizados.

Una vez normalizada la data, se procedió a realizar un análisis estadístico univariado, mostrando estadísticos descriptivos como media, moda, mediana, desviación estándar, Q1, Q3, así como un histograma.

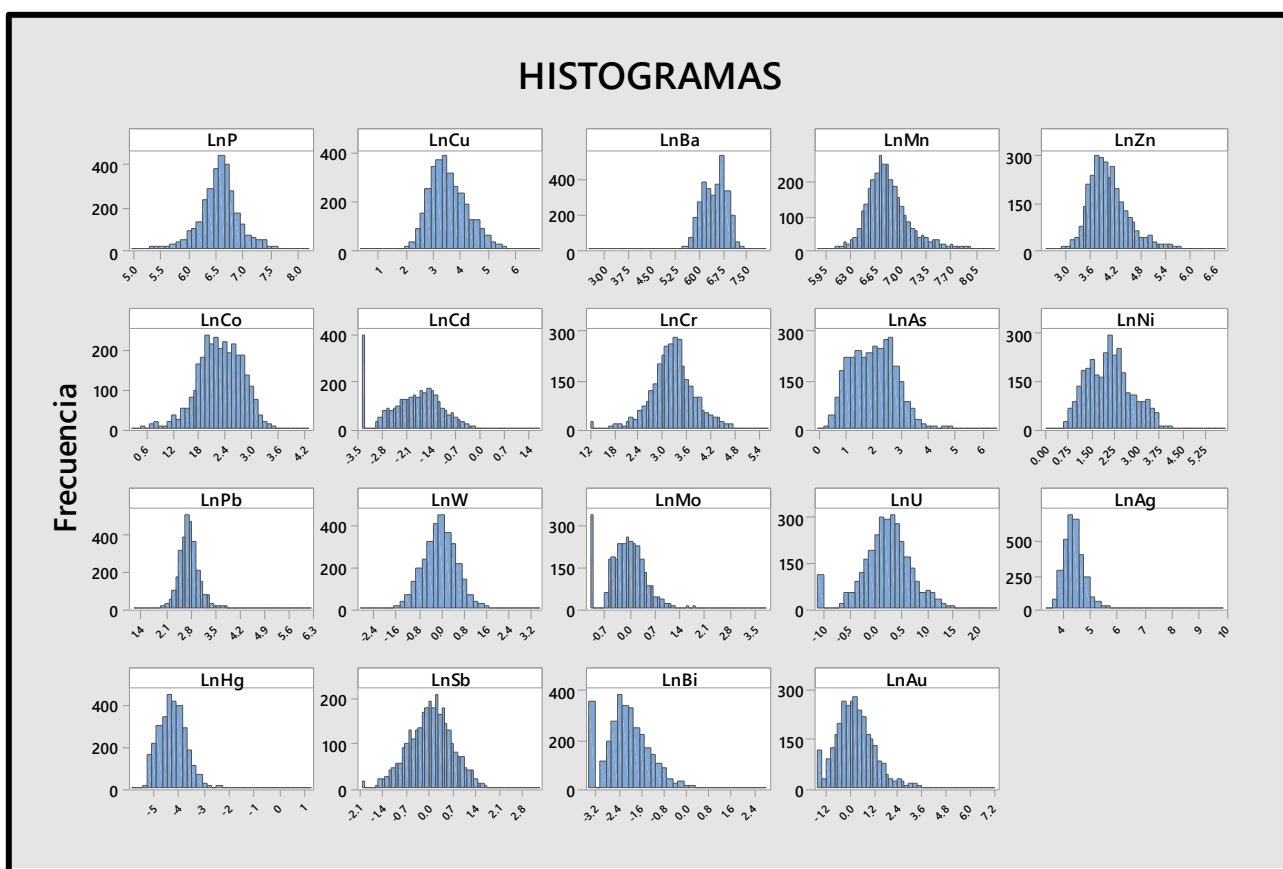


Figura 6. Histogramas de la data normalizada.

De la descripción estadística básica (fig.6) podemos decir que los datos se acercan a una distribución normalizada. Asimismo, el histograma para elementos como el P, Zn, U, Au, Ag, Sb, Hg, Cr, Ni, Mn muestra una simetría muy cercana a la campana de Gauss, mostrando así una mejor homogenización de los datos, después de haber normalizado la data.

A continuación, se realizó la prueba de valores atípicos por Grubbs, para conocer como es el comportamiento de los diferentes elementos, y si es que hay algún *outlier*, que nos pueda dar algunos indicios anómalos.



Figura 7. Valores atípicos de Mo-W-Ag-U-Au



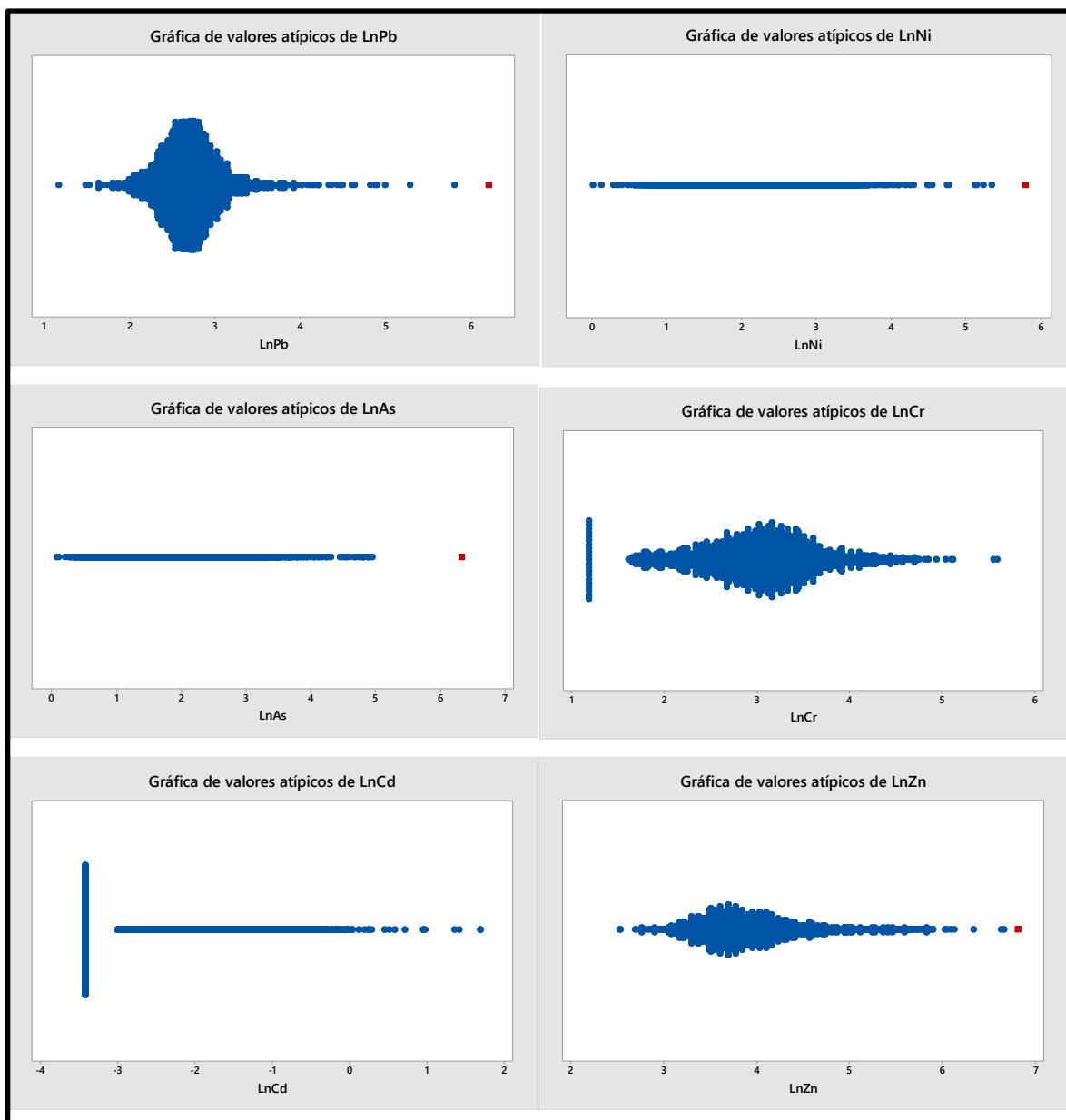


Figura 8. Valores atípicos del Zn-Cr-Cd-Pb

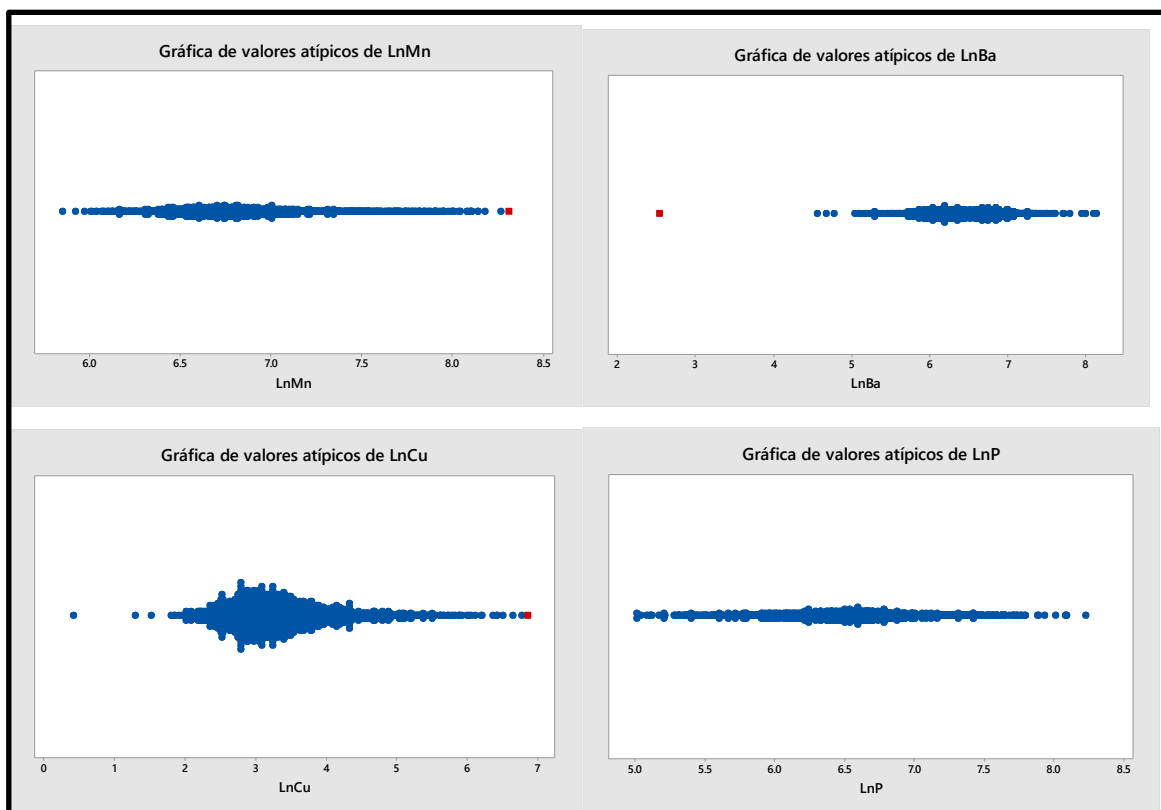
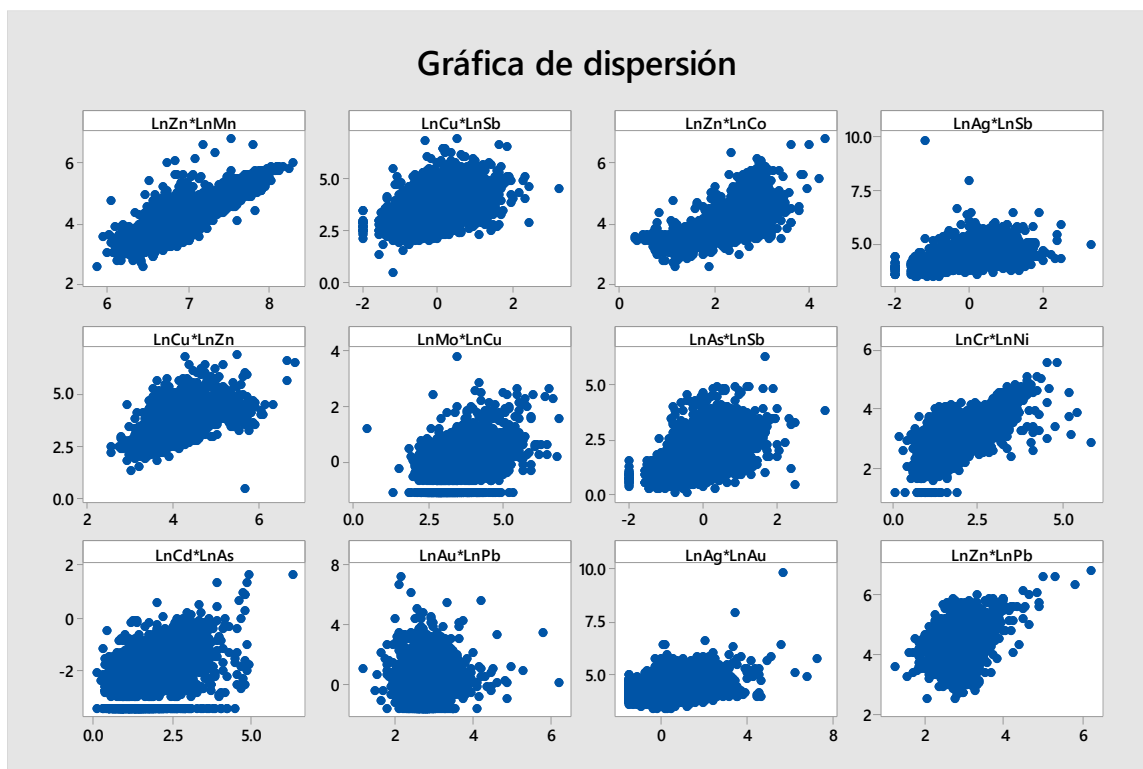


Figura 9. Valores atípicos de Mn, Ba, P, y Cu.

De la gráfica de valores atípicos (Figura 7, 8 y 9), se observó que el Cu, Ba, Mn, Zn, As, Pb, Ni, Mo, Ag, Hg, Sb, Bi, y Ni tienen valores atípicos, pero estos tienen un distanciamiento equidistante entre valores, mostrando así que son valores anómalos/*outliers* y no se trata de valores que hayan sido mal muestreados o enriquecidos por un mal muestreo.

Por lo tanto, esos valores no deben de ser eliminados, y se ejecutó los siguientes análisis para evaluar y definir nuestro elemento anómalo influenciado por otros elementos guías.

Posteriormente, se empleó el análisis bivariado, utilizando elementos y que tengan afinidad de móviles e inmóviles, donde se utilizó graficas de dispersión entre dos elementos, teniendo los siguientes gráficos:



*Figura 10.* Gráficas de dispersión entre dos elementos.

De las gráficas de dispersión (Figura 10), se pudo notar una correlación directa entre el Cu- Zn, Cu-Mo, Cr-Ni, Zn-Co, Zn-Mn, Pb-Zn estos elementos nos dan indicios de una firma polimetálica o depósitos de Cu en la zona estudiada, así como una actividad hidrotermal en la zona por la relación As-Sb, donde su correlación no es tan fuerte y debe ser analizada posteriormente. Asimismo, no hay una buena correlación el Ag-Sb.

Para continuar analizando la relación entre variables, se ejecutó el análisis trivariado con los siguientes elementos Cu-Zn-Pb, Mo-Zn-Cu y Sb-As-Hg ya que tuvieron buena correlación en el análisis bivariado, y se empleó gráficas de contorno:

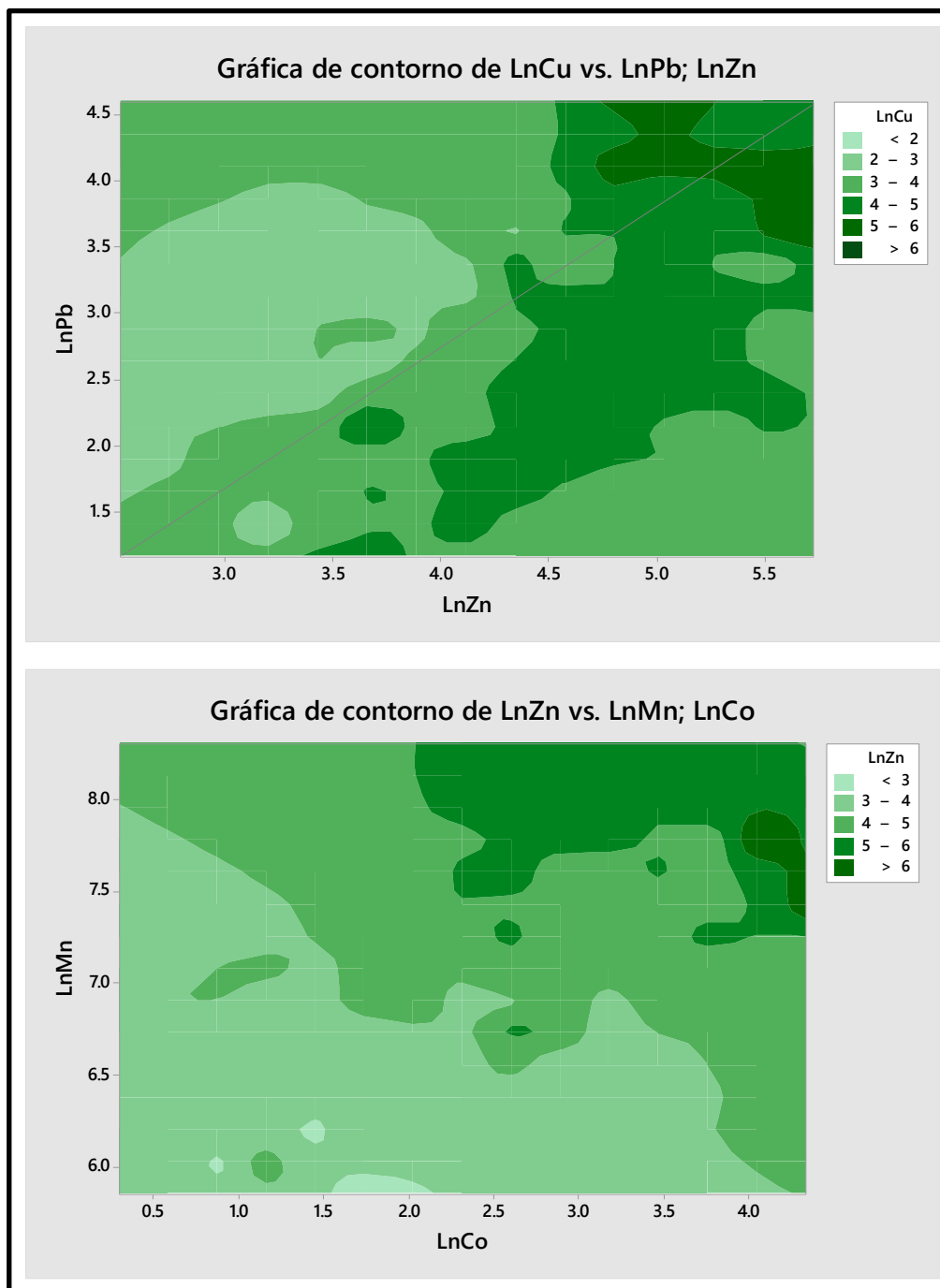
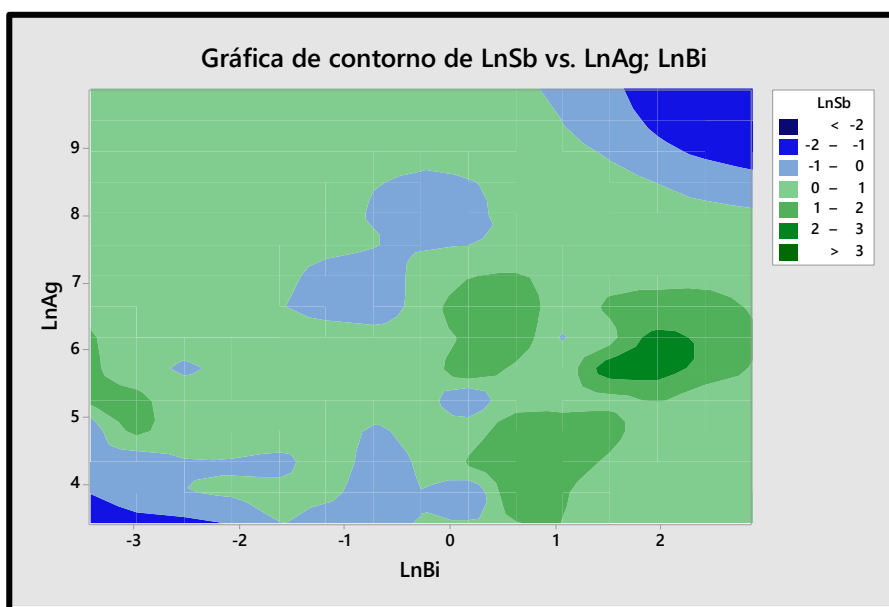


Figura 11. Gráficas de contorno de Zn-Mn-Co y Cu-Pb-Zn



*Figura 12.* Gráfica de contorno de Sb-Ag-Bi

De los gráficos de contorno (fig.11 y 12), se visualizó que el Cu tiene una muy buena correlación directa con el Pb-Zn, con una tendencia lineal que presenta un aumento de Cu cuando el Pb-Zn también aumentan, pero en el caso con el Mn-Co sucede lo mismo pudiéndose identificar una buena correlación entre estos tres elementos. Asimismo, el último gráfico de contornos muestra que el Bi tiene una moderada-fuerte correlación cuando aumenta el Sb pero cuando los valores del Ag aumenta el Sb disminuye habiendo una correlación negativa.

Finalmente, se hizo un análisis multivariado para ver el comportamiento y correlación entre todos los elementos, se empleó el software ioGAS para una mejor confiabilidad de los resultados. Se usó el método de correlación de Pearson, ya que Mestas (2019) ,menciona que cuando tienes datos normalizados y con el fin de obtener valores reales se debe emplear Pearson y no Spearmen.

|      | LnP    | LnBa   | LnCr   | LnCu  | LnMn  | LnPb   | LnZn  | LnMo  | LnSb  | LnW   | LnBi  | LnU    | LnCo  | LnAs  | LnHg  | LnAu |
|------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------|
| LnBa | 0.057  |        |        |       |       |        |       |       |       |       |       |        |       |       |       |      |
| LnCr | 0.297  | 0.064  |        |       |       |        |       |       |       |       |       |        |       |       |       |      |
| LnCu | 0.515  | -0.104 | 0.234  |       |       |        |       |       |       |       |       |        |       |       |       |      |
| LnMn | 0.557  | -0.057 | 0.275  | 0.585 |       |        |       |       |       |       |       |        |       |       |       |      |
| LnPb | -0.071 | 0.039  | -0.034 | 0.055 | 0.041 |        |       |       |       |       |       |        |       |       |       |      |
| LnZn | 0.527  | -0.061 | 0.333  | 0.63  | 0.823 | 0.261  |       |       |       |       |       |        |       |       |       |      |
| LnMo | 0.177  | 0.16   | -0.069 | 0.397 | 0.086 | 0.17   | 0.167 |       |       |       |       |        |       |       |       |      |
| LnSb | 0.221  | -0.069 | -0.073 | 0.431 | 0.432 | 0.108  | 0.372 | 0.181 |       |       |       |        |       |       |       |      |
| LnW  | 0.218  | -0.093 | -0.03  | 0.457 | 0.314 | 0.086  | 0.33  | 0.427 | 0.435 |       |       |        |       |       |       |      |
| LnBi | 0.034  | -0.469 | -0.075 | 0.28  | 0.095 | 0.216  | 0.18  | 0.187 | 0.366 | 0.393 |       |        |       |       |       |      |
| LnU  | 0.161  | 0.109  | -0.281 | 0.194 | 0.191 | 0.209  | 0.229 | 0.408 | 0.432 | 0.437 | 0.175 |        |       |       |       |      |
| LnCo | 0.618  | -0.184 | 0.569  | 0.665 | 0.71  | -0.091 | 0.698 | 0.079 | 0.272 | 0.23  | 0.172 | -0.094 |       |       |       |      |
| LnAs | 0.371  | 0.079  | 0.134  | 0.424 | 0.312 | 0.282  | 0.412 | 0.39  | 0.511 | 0.438 | 0.308 | 0.43   | 0.263 |       |       |      |
| LnHg | 0.014  | -0.152 | 0.03   | 0.207 | 0.152 | 0.078  | 0.208 | 0.039 | 0.336 | 0.2   | 0.242 | -0.013 | 0.123 | 0.176 |       |      |
| LnAu | 0.03   | -0.185 | 0.031  | 0.137 | 0.024 | 0.044  | 0.024 | 0.171 | 0.193 | 0.296 | 0.275 | 0.017  | 0.083 | 0.279 | 0.246 |      |
| LnAg | 0.136  | -0.154 | -0.02  | 0.448 | 0.3   | 0.318  | 0.372 | 0.274 | 0.468 | 0.388 | 0.415 | 0.216  | 0.213 | 0.438 | 0.335 | 0.37 |

>0.9 Muy buena correlación  
0.75-0.9 Buena correlación  
0.5-0.75 Moderada correlación  
0.25-0.50 Mala Correlación  
0-0.25 Muy mala correlación

Figura 13. Análisis multivariado usando correlación de Pearson.

Se pudo apreciar una buena correlación entre: Zn-Mn

Y una moderada correlación entre: Cu-P, Mn-P, Co-P, Co-Cr, Cu-Mn, Cu-Zn, Cu-Co, Mn-Co, Zn-Co, As-Sb.

A la vez, el análisis multidisciplinario se complementó con un análisis *cluster* mediante dendogramas:

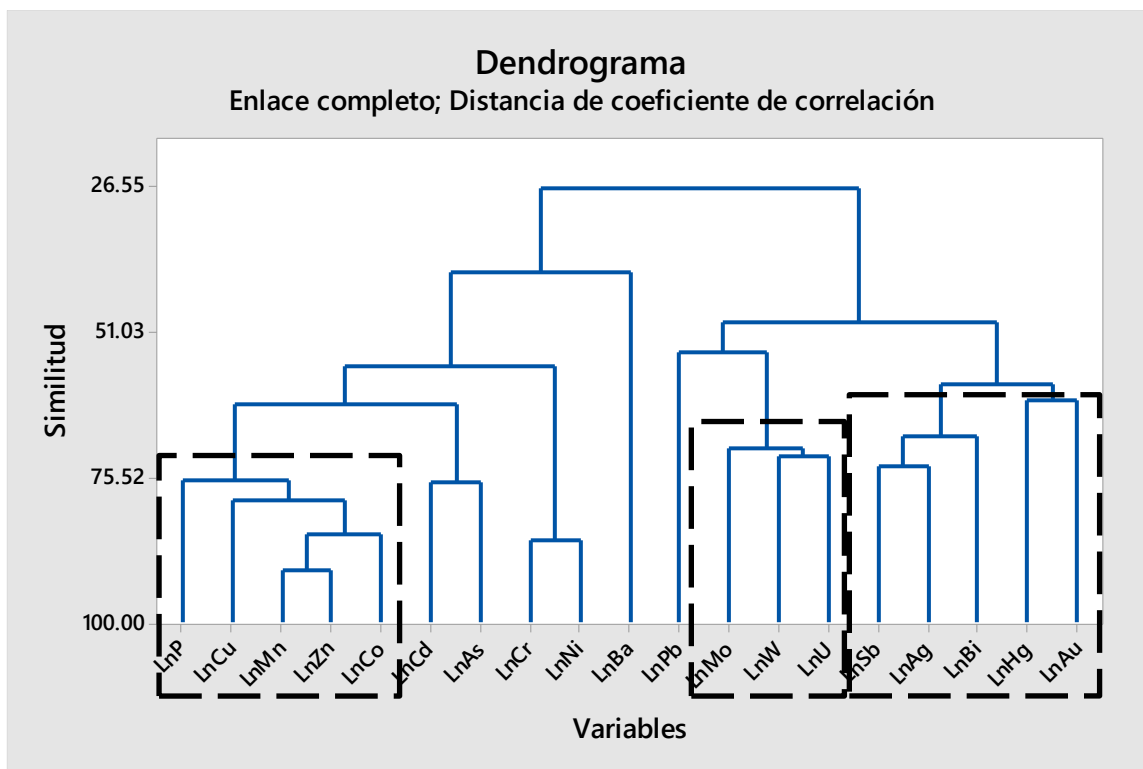


Figura 14. Análisis cluster mediante dendrograma.

El dendrograma y el análisis multivariado por Pearson mostraron tres grupos de buenas asociaciones, el primero grupo esta conformada por P-Cu-Mn-Zn-Co, donde Co y P son siderófilos, y el Cu-Zn asociándose a siderófilos ocurre mayormente en depósitos VMS e IOCG, la otra firma de Mo-W-U relacionados a depósitos de Tungsteno, y la firma Ag-Sb-Bi-Hg-Au está asociado a depósitos epitermales y pórfidos cupríferos distales.

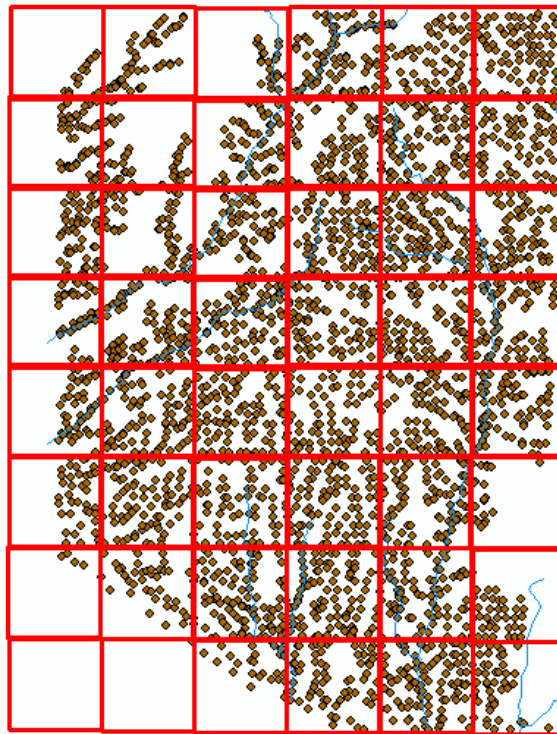
La segunda etapa estadística- prospectiva es la identificación de anomalías geoquímicas, y para el presente trabajo se empleará el método de ventana deslizante con estadísticas del vecino cercano, que dividirá toda la población en subpoblaciones e irá dando pesos proporcionales a cada subpoblación.

Este método nos permitió encontrar anomalías mediante el índice enriquecimiento local (LREI), en la cual consiste en dividir la media entre la mediana y le restamos 1, este parámetro (LREI) se aplicó usando a la ventana deslizante, en la cual consistió en determinar ventanas con los datos que tenemos y en cada ventana se obtuvo el LREI para cada elemento (ver anexo 4). Para obtener los valores se empleó la siguiente formula:

$$LREI_{(zi)} = \frac{xi - Mediana_i}{Mediana_i}$$

*Ecuación 1. LREI empleando la mediana*

Primero se tiene que asignar ventanas deslizantes, por lo cual se le asignó una medida de 25kmx25km m de acuerdo con los datos asignados, en total se obtuvo 46 subpoblaciones. Vale recalcar que las ventanas tienen que ser representativas y fáciles de trabajar.



*Figura 15. Ventanas deslizantes en nuestros puntos de muestreo.*



Luego de obtener el valor de LREI para cada elemento, se usó el software ArcGis para realizar un cartografiado geoquímico usando el método de interpolación Kernel y los valores LREI (ver anexo 3), ya que es el más idóneo para datos tomados para escalas medianas a grandes. Los elementos empleados serán el Cu que anteriormente mostraron una buena asociación con otros elementos y mostraron interesantes firmas geológicas, en este caso se analizó su comportamiento espacial.

Asimismo, cuando se emplea el LREI los valores mayores a cero son considerados como anomalías favorables, y los menores a cero como anomalías negativas. Por ello, se realizó los mapas de anomalías de Cu, se consideró únicamente los valores positivos que están en color rojo-naranja, para poder diferenciar las zonas anómalas más favorables.

De la figura 15, se pudo identificar que el Cobre tiene una fuerte concentración en la parte en casi todo el territorio de estudio, mostrando así grandes expectativas para la localización de blancos exploratorios. A continuación se muestran los mapas anómalos:

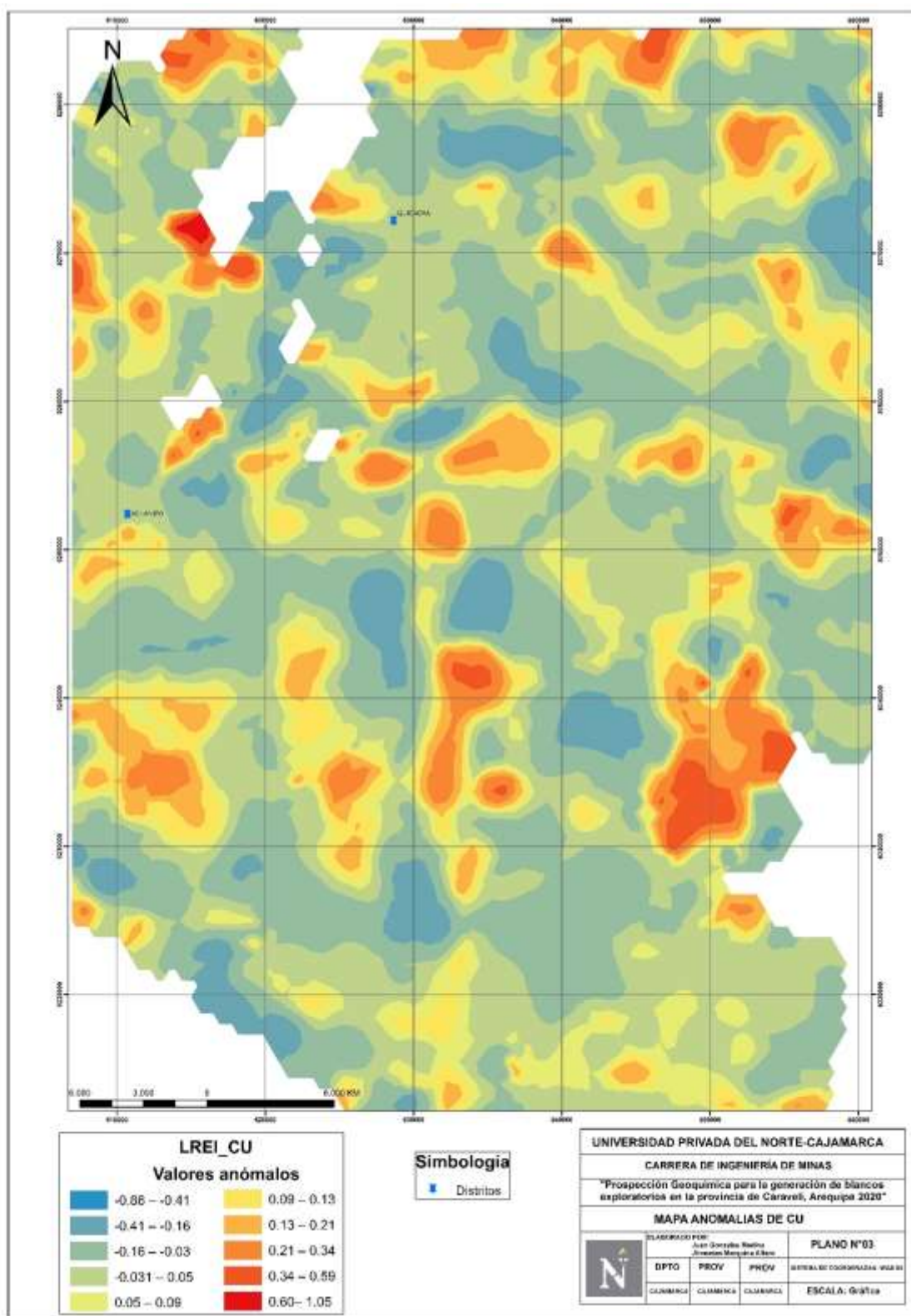


Figura 16. Anomalías de Cu mediante el LREI y Kernel.

Para complementar el mapa de anomalías geoquímicas, se realizó un mapa en base el *Zonation RGB*, que consiste en utilizar elementos como el Sb, As, Hg que indican hidrotermalismo en la zona, combinando colores RGB, donde el Sb será el R, el As G, y el Hg el B, y los colores celeste, magenta, amarillo son las zonas con mayor interés.

En el Mapa Multielemental (Figura 16), se visualizó que en la parte norte, existe la presencia de colores magenta a claro mostrando una tendencia marcada entre estos elementos (As, Sb, Hg), dándonos a entender que en esas partes hubo actividad hidrotermal y hay cierta correlación entre esos tres elementos. En el mapa se sobre impuso las anomalías del cobre para notar la relación con los elementos Sb-As-Hg.

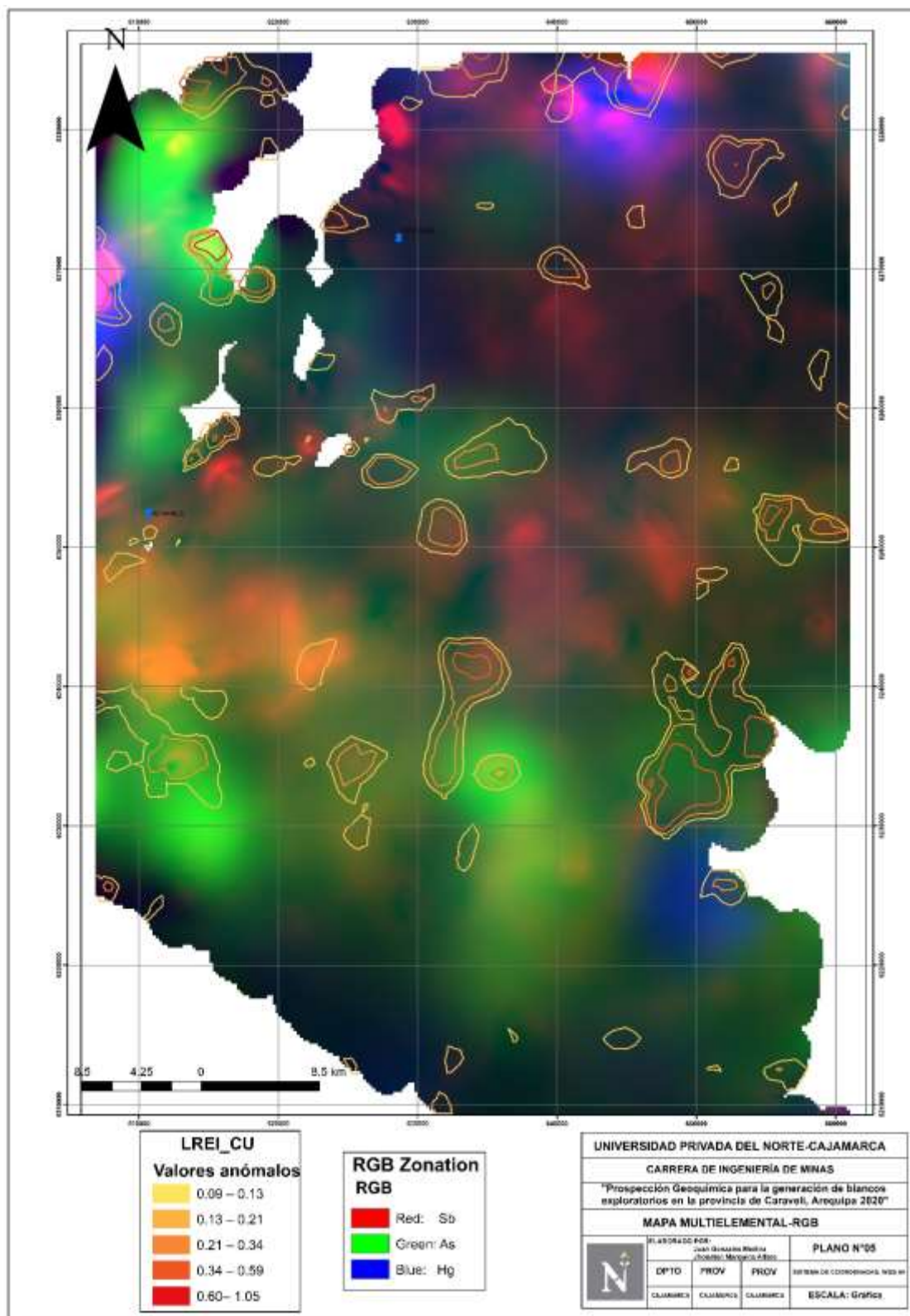


Figura 17. Mapa multielemental usando RGB.

Después de todo ello, se hizo una combinación de los mapas de anomalías geoquímicas, el mapa multielemental *Zonation* RGB, el mapa geológico y metalogénico, lo cual permitió reconocer espacialmente la asociación de los diferentes elementos de interés en el tiempo y espacio, y todo ello facilitó la generación de blancos exploratorio(*targets*) de la zona.

Como resultado, se tuvo un mapa de blancos exploratorios (ver figura 20) se identificó 18 blancos exploratorios, que muestran buenas anomalías de Ag-Sb-Bi-Hg-Au y Cu-Mn-Zn-Co-P espacialmente, confirmando así las asociaciones que un inicio se tuvieron cuando se ejecutó el análisis univariado, bivariado, trivariado y multivariado, pero en esta ocasión se confirmó espacialmente su correlación.

A continuación se presenta una tabla resumen de los cuatros blancos exploratorios ubicados, donde se toma en cuenta los elementos asociados, tipo de depósito asociado, formaciones geológicas y cerros donde está ubicado, y una ubicación central que referencia al *target*.

Tabla 4.

*Ubicación de blancos exploratorios.*

| Número    | Blanco             | Tipo de depósito      | Metalogenia<br>Franjas | Ubicación<br>(UTM-Zona 18S) |
|-----------|--------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------|
| <b>1</b>  | Cu-Mn-Zn-<br>Co-P  | IOCG/VMS              | V                      | E: 632156<br>N: 8205928     |
| <b>2</b>  | Cu-Mn-Zn-<br>Co-P  | IOCG/VMS              | V                      | E: 609485<br>N: 8218386     |
| <b>3</b>  | Cu-Mn-Zn-<br>Co-P  | IOCG/VMS              | V                      | E: 612335<br>N: 8228603     |
| <b>4</b>  | Cu-Mn-Zn-<br>Co-P  | IOCG/VMS              | V                      | E: 625808<br>N: 8226655     |
| <b>5</b>  | Cu-Mn-Zn-<br>Co-P  | Pórfido Cu- Epitermal | IX-V                   | E: 634359<br>N: 8229890     |
| <b>6</b>  | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | IX                     | E: 650941<br>N: 8230629     |
| <b>7</b>  | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | IX                     | E: 609874<br>N: 8243604     |
| <b>8</b>  | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | IX                     | E: 631638<br>N: 8250983     |
| <b>9</b>  | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | IX                     | E: 617128<br>N: 8250438     |
| <b>10</b> | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | IX                     | E: 653014<br>N: 8247569     |
| <b>11</b> | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | IX                     | E: 608319<br>N: 8261231     |
| <b>12</b> | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | IX                     | E: 657418<br>N: 8260159     |

|           |                    |                       |    |                         |
|-----------|--------------------|-----------------------|----|-------------------------|
| <b>13</b> | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | IX | E: 643297<br>N: 8266121 |
| <b>14</b> | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | X  | E: 655086<br>N: 8271259 |
| <b>15</b> | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | X  | E: 643557<br>N: 8278596 |
| <b>16</b> | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | X  | E: 632804<br>N: 8277903 |
| <b>17</b> | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | IX | E: 617128<br>N: 8277332 |
| <b>18</b> | Ag-Sb-Bi-<br>Hg-Au | Pórfido Cu- Epitermal | IX | E: 616351<br>N: 8263019 |



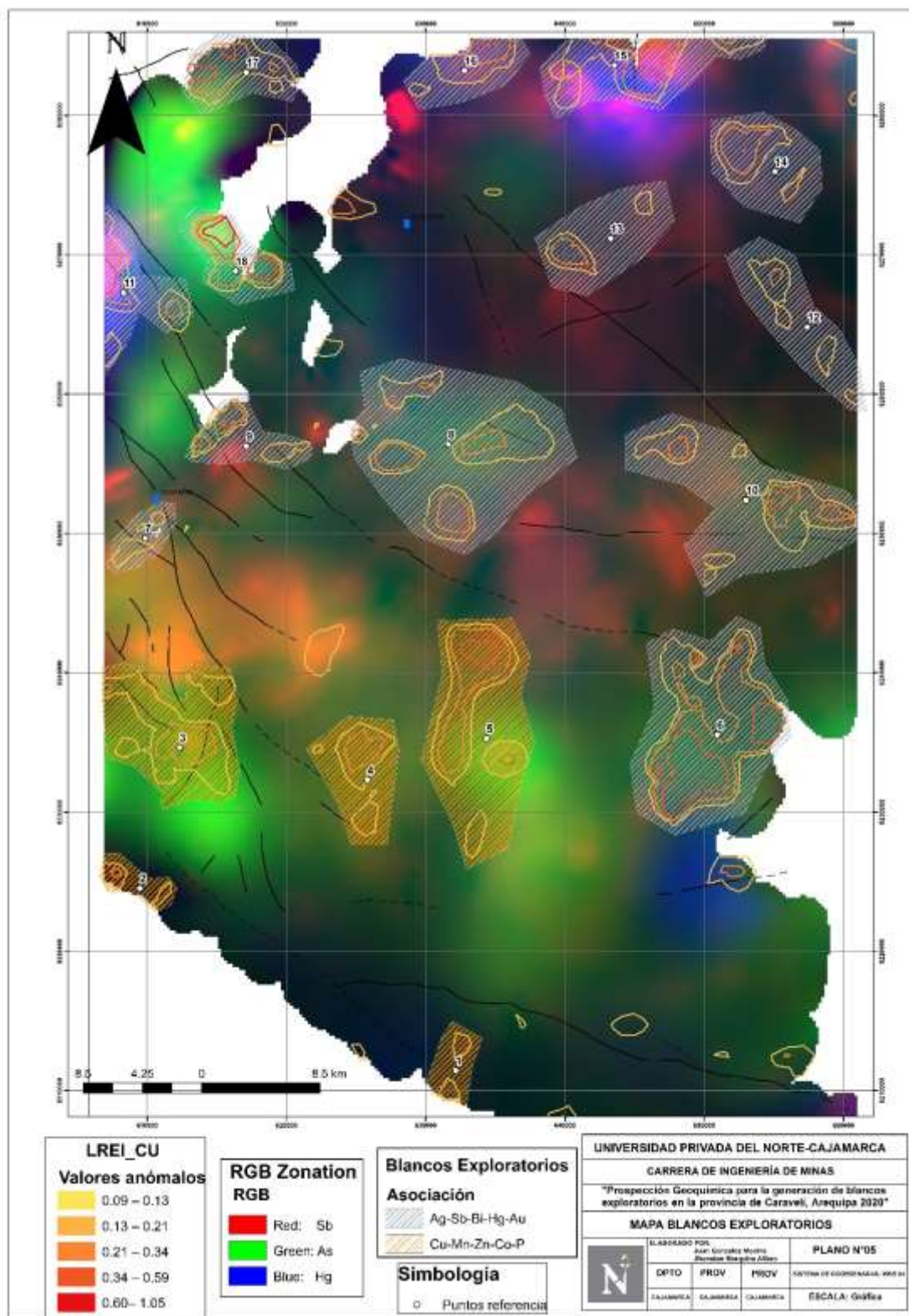


Figura 18. Mapas de blancos exploratorios.



Para el modelado de los blancos se tomó en cuenta: las estructuras geológicas ya que la región de Arequipa tiene como principal metalotecto a las fallas como la Punre Canchis e Ica-Islay-Ilo, las anomalías positivas del cobre, los colores magenta del mapa multielementales y el mapa metalogénico. Se realizó el trazado de los blancos respetando los límites de la metalogenia, ya que en la parte sur predomina la franja V que esta relacionada a los IOCG, pero también en esa parte podemos tener depósitos VMS debido a la buena asociación que se notó en los análisis univariado, bivariado, trivariado y multivariado.

También, se confirmó que la zona de estudio tiene potencial para albergar depósitos metálicos IOCG, VMS, Pórfidos de Cu, Epitermales y de Tungsteno que si bien no hay relación con la metalogenia se vuelve interesante su comercialización, asimismo, esas firmas se relacionan claramente con la metalogenia local (ver anexo 3) corroborando de esa manera la confiabilidad del tratamiento estadístico que se empleó.

Los 18 blancos exploratorio deben ser muestreados a corto plazo mediante canales/trincheras para delimitar mejor los *targets*, con la finalidad de que se pueda hacer métodos directos como la perforación diamantina y se obtenga bastantes probabilidades de cortar algún cuerpo mineralizado.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

A partir de los mapas e interpretaciones realizadas, se acepta la hipótesis general comprobando la ubicación de dieciocho blancos exploratorios en el distrito de Caravelí mediante una Prospección Geoquímica de suelos que permitió localizar las anomalías altas de diferentes elementos, y ha permitido conocer los elementos pathfinders de la zona de estudio.

La prospección es la etapa inicial para la búsqueda de depósitos minerales, constituida de la geoquímica que se ocupa de la distribución de elementos en el tiempo y espacio, (Renguang,2012; Goldschmidt, 1954). La geoquímica de prospección/exploración es una rama de la geoquímica aplicada que utiliza elementos químicos, propiedades y distribución para localizar y caracterizar depósitos minerales mediante trabajos regionales mediante zonas anómalas (Gandhi, 2017; Caolen Kourt, 1990;Xiong et al.,2018). Al respecto, en el presente estudio se ha enfocado en un estudio regional donde se detectó diferentes anomalías de elementos como P-Cu-Mn-Zn-Co, Ag-Sb-Bi-Hg-Au y Mo-W-U que han mostrado una asociación entre ellas y nos ha permitido caracterizar y asociar una firma de depósitos.

En estudios cerca a minas favorece la dispersión secundaria que permite que diferentes fragmentos minerales se acumulen en suelos, y arroyos dependiendo de su movilidad, luego se hace una preparación de la muestra, y se escoge la digestión de acuerdo con el ambiente geomorfológico y se hace un análisis químico (Gandhi, 2017). El laboratorio te hace entrega de una data de resultados y se hace un análisis exploratorio para identificar valores extremos, normalizar la data, la existencia de correlaciones entre elementos, y

posterior se hace el cartografiado de anomalías para delimitar zonas (Mestas,2019). En este estudio se tomaron muestras de suelo aprovechando la dispersión de las minas que están en la zona norte de Caravelí, se usó una digestión de aguas regias, y se analizó químicamente, posterior, se normalizó la data y se usó el método estadístico robusto de ventana deslizante que permitió localizar anomalías positivas de cobre en Caravelí.

La geoquímica de suelos y haciendo un buen análisis estadístico permite localizar depósito tipo pórfido de Cu (Yang et al.,2013), Asimismo que la data debe ser analizada descriptivamente y normalizada por una prueba de normalidad de Kolgomorov- Smirnov aplicando logaritmo neperiano porque permiten obtener una buena correlación entre elementos e identificar los elementos pathfinders o guías de la zona de estudio (Yaylali-Abanuz, 2013; Jackson & Bates, 1984; Cornelio y Rios, 2012). Lo expresado por estos autores guardan relación con el proyecto porque se pudo localizar blancos relacionada a depósitos pórfidos cupríferos, donde inicialmente normalizamos la data y se obtuvo fuertes correlaciones entre siderófilos y el Cu, y ello permitió reconocer los elementos guías Ag-Sb-Bi-Hg-Au y Cu-Mn-Zn-Co-P, estandarizando así esta zona para el distrito de Caravelí.

De igual manera afirman Guimaraes et al. (2016) y Fan et al. (2017) que identificaron cuatro áreas objetivas, empezando con un análisis exploratorio de datos que se basó principalmente en análisis multivariado, en el caso de Yuan et al. (2012) distinguió zonas mineralizadas empleando métodos de interpolación por Krigin. Estos resultados guardan cierta relación con lo mencionado, debido a que en el presente estudio se empleó dendogramas y diagramas de correlación de Pearson obteniendo muy buenas asociaciones y acercándonos a firmas conocidas de depósitos, y en base a los métodos de interpolación no

concordamos con el uso de Kriging ya que para escalas grandes se obtiene mejores resultados con el método de Kernel.

De igual manera, en el presente estudio los blancos exploratorios localizados están ligados o próximos a rocas intrusivas del Batolito de la Costa, a Complejo Basal de la costa y estructuras (lineamientos, pliegues, fallas), son esas zonas donde las anomalías se han concentrado mejor. Por ello, a futuro si se desea realizar trabajos prospectivos cerca de la zona de estudio ejecutada, se debe poner énfasis en lo mencionado, y tomar en cuenta como guía los elementos pathfinders identificados en la zona de estudio.

La metodología empleada para identificar anomalías geoquímicas siguiendo el orden de análisis univariado, bivariado, trivariado, multivariado, y mediante el método de ventana deslizante permitió localizar una mejor concentración anómala de diferentes elementos, esto cambia el enfoque utilizado mayormente en el Perú de usar frecuentemente solo estadística descriptiva que muchas veces obvias zonas que muestran cierto potencial a comparación de la estadística robusta que sí la identifica.

Con el presente estudio se logró identificar elementos guías P-Cu-Mn-Zn-Co, Ag-Sb-Bi-Hg-Au, Mo-W-U, tomando como novedad a este último que para las empresas que empiezan en el mundo de la minería es interesante la explotación de Tungsteno para obtener un capital y a futuro realizar una exploración más intensiva con programas brownfill e infill. Las limitaciones identificadas en el estudio se basan principalmente en las pocas visitas a la zona de estudio por tiempos de pandemia y por la falta de consentimiento para la accesibilidad por parte de los pobladores, que generó que no se haga el cartografiado detallado para así darle un mejor trazado a los blancos exploratorios. Asimismo, la poca

información geoquímica relacionado a la aplicación de estadística robusta, provocó que la ejecución del proyecto demore a lo previsto.

#### **4.2. Conclusiones**

Finalmente, la prospección geoquímica basada en realizar un muestreo regional por suelos considerando una densidad y peso adecuado para el muestreo, un análisis geoquímico por ICP-MS para la detección de límites bajos de diferentes elementos, y un tratamiento estadístico empleando un método robusto como la ventana deslizante, permitió realizar un buen cartografiado geoquímico y ubicar 18 blancos exploratorios de asociaciones Ag-Sb-Bi-Hg-Au y Cu-Mn-Zn-Co-P en el distrito de Caravelí.

Asimismo, se pudo conocer con la prueba de normalidad mediante la hipótesis de Kolmogórov-Smirnov que la data de estudio presenta un comportamiento log-normal y para normalizar la data, se comprobó que la corrección por logaritmo neperiano fue el más apropiado, debido, a que los histogramas presentaron un mejor comportamiento, acercándose a la campana de Gauss.

El análisis univariado mediante histogramas, el análisis bivariado con gráficas de dispersión, el análisis trivariado empleando gráficas de contorno, y el análisis multivariado haciendo uso de dendogramas y correlación de Pearson para una data normalizada, son herramientas capaces de identificar elementos guías, por ello, permitieron identificar la correlación de elementos como P-Cu-Mn-Zn-Co, Mo-W-U, y Ag-Sb-Bi-Hg-Au asociadas a firmas de yacimientos del tipo VMS e IOCG, yacimientos de Tungsteno, yacimientos epitermales y del tipo pórfido.

El método robusto de ventana deslizante con estadísticas del vecino cercano dividió la distribución de los datos geoquímicos en subpoblaciones mediante 46 ventanas de un mismo

tamaño y les proporcionó el mismo peso homogenizándolas, y con el índice de enriquecimiento local (LREI) se pudo obtener un coeficiente para cada ventana, logrando así con ese valor poder realizar el cartografiado geoquímico.

De igual importancia, para el elemento del Cu se elaboró mapas de anomalías geoquímicas con el valor del LREI, y se localizó concentraciones fuertes parte en casi todo el territorio de estudio, y se complementó con un mapa multielemental (RGB Zonation) del As, Sb y Hg conociendo las zonas calientes (actividad hidrotermal) en la zona Norte, definiendo así estos dos tipos de mapas las 18 zonas con mayor interés exploratorio.

Además, la combinación de los mapas de anomalías geoquímicas y multielemental, complementada con los mapas geológicos-metalogénicos y respetando las fallas regionales, mejoró la precisión para la ubicación, delimitación y construcción de los blancos exploratorios.

## REFERENCIAS

- Athanas Simon , M., Xiaohui , L., Dalaly Peter, K., & Fen , Y. (2020). *Applied Geochemistry Advances in Mineral Exploration Techniques*. Elsevier.
- Cacador Martins-Ferreira, M., Guimaraes Campos, J., & Bittencourt Pires, A. (2016). Near-mine exploration via soil geochemistry multivariate analysis at the Almas gold province, Central Brazil: A study case. *Journal of Geochemical Exploration*, 173, 52-53 .  
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.11.011>
- Caolen Kourt, B. (1990). *Ore-reserves by Classical Methods*. Resources and Reserves Symposium.
- Cornelio Orbegoso, F., & Ríos Carranza, A. (2012). *Generación y Evaluación de Blancos de Exploración Minera en el Distrito Minero de Huandoval (Pallasca - Perú)*. Universidad de Concepción.<https://www.researchgate.net/publication/339029740>
- Gandhi , S. (2017). *Mineral Resources*. Springer Link.
- Goldschmidt, V. (1970). *Geochemistry*. Oxford University Press.
- Jackson , J., & Bates , R. (1984). *Dictionary of Geological Terms*. Anchor .
- Mestas Huaracha, R. (2019). *Geología y Prospección Geoquímica del Prospecto Rodrigo Alejandro, Provincia del Santa Departamento de Ancash*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Pour Beiranvand, A., & Mazlan, H. (2014). Hydrothermal alteration mapping from Landsat-8 data, south-eastern Islamic Republic of Iran. *Journal of Taibah*, 9, 2.  
<https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2014.11.008>
- Shaoping , Y., Hua , Z., Yinghan Liu, Huazhong , L., & Renting , X. (2013). Study on surficial soil geochemistry in the high-elevation and -frigid mountainous region: A case of Qulong porphyry copper deposit in Tibet. *Journal of Geochemical Exploration*, 139, 144-151.<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.06.001>
- Yaylali-Abanuz, G. (2013). Determination of anomalies associated with Sb mineralization in soil geochemistry: A case study in Turhal (northern Turkey). *Journal of Geochemical Exploration*, 132, 63-74. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.05.006>
- Yuan , F., Li, X., Jowitt, S., Zhang , M., Jia, C., Bai, X., & Zhou, T. (2012). Anomaly identification in soil geochemistry using multifractal interpolation: A case study using the distribution of Cu and Au in soils from the Tongling mining district, Yangtze metallogenic belt, Anhui province, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 132, 63-74. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.03.003>

# Prospección Geoquímica para la generación de blancos exploratorios en el distrito de Caravelí, Arequipa 2020.

## ANEXOS

## ANEXO 1

| Codigo2 | P_ppm  | Ti_ppm | Ba_ppm | Cr_ppm | Cu_ppm | Mn_ppm | Pb_ppm | Sr_ppm | Zn_ppm | Li_ppm     | Be_ppm     | Nb_ppm     | Mo_ppm     | Sb_ppm     | La_ppm      | W_ppm       | Bi_ppm     | U_ppm      | Co_ppm     | Ni_ppm     | Cd_ppm     | As_ppm     | Hg_ppm     | Au_ppb     | Sn_ppm | B_ppm | Ag_ppb |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|-------|--------|
| F154C1  | 557.1  | 3752.1 | 846.2  | 82.1   | 33.8   | 810.3  | 18.3   | 177.4  | 62.9   | 10.9292822 | 1.0703942  | 9.08416778 | 0.63388086 | 0.57288948 | 35.5559517  | 1.01473308  | 0.05248748 | 0.86714297 | 14.4120011 | 31.1641768 | 0.06219384 | 2.36375715 | 0.01215919 | 1.63587676 | 2.3    | 9.2   | 50     |
| F154C2  | 461.9  | 3519.7 | 804.1  | 87.3   | 19.9   | 662.7  | 14.4   | 184.9  | 57.5   | 7.96819615 | 0.9898194  | 9.40429947 | 0.55333446 | 0.3428647  | 31.6322481  | 0.60585272  | 0.0325     | 0.82681866 | 11.4735987 | 25.8476728 | 0.0325     | 2.68127841 | 0.01550566 | 1.49356896 | 2.1    | 6.6   | 42     |
| F102D1  | 873.5  | 4326.8 | 796.4  | 98.4   | 30.3   | 835.6  | 10.7   | 250.9  | 63.6   | 16.7938262 | 1.10865425 | 9.96601496 | 0.77784551 | 0.76126065 | 27.971815   | 1.06346107  | 0.08514666 | 0.87544291 | 14.7969673 | 30.6755861 | 0.09592597 | 10.7588154 | 0.00741886 | 1.48626929 | 2.7    | 25.4  | 72     |
| F102D2  | 889    | 4343.7 | 1106.1 | 61.5   | 32.3   | 1505.1 | 14.9   | 233.5  | 88     | 15.0907661 | 0.85869792 | 8.60523863 | 0.85091797 | 0.38876473 | 36.2327911  | 0.73339707  | 0.11475705 | 0.325      | 16.9677607 | 39.1025651 | 0.02660037 | 4.06315164 | 0.01469303 | 0.98961929 | 3.6    | 25.6  | 71     |
| F104A1  | 666.7  | 4051   | 873.3  | 98.1   | 25.3   | 1032.6 | 12.9   | 180    | 78.8   | 13.0508067 | 0.76875782 | 7.42369511 | 0.59584999 | 0.29474962 | 35.2494324  | 0.64443262  | 0.08315499 | 0.325      | 18.1804549 | 36.751823  | 0.15280534 | 2.92407405 | 0.01726405 | 1.74348684 | 2.7    | 19.7  | 50     |
| F117A1  | 648.6  | 3869.4 | 924.1  | 94.2   | 27.3   | 964    | 12.8   | 225.6  | 71.3   | 14.6013023 | 0.79989584 | 8.29448217 | 0.65415098 | 0.46465386 | 40.031641   | 0.78544739  | 0.06600974 | 0.56796768 | 16.8042444 | 37.3680217 | 0.14290099 | 5.78725075 | 0.00839399 | 1.29827101 | 2.9    | 18.3  | 66     |
| F117B1  | 318.6  | 3225   | 1063.8 | 72.8   | 16.6   | 643.3  | 9.6    | 192.8  | 48.9   | 7.41216768 | 0.60720854 | 5.18383091 | 0.325      | 0.13       | 27.7097861  | 0.51380444  | 0.0325     | 0.325      | 11.6992265 | 28.2868674 | 0.05069826 | 2.17961599 | 0.00526492 | 0.55089648 | 3.2    | 11    | 40     |
| F117C1  | 392.6  | 4003.5 | 838.3  | 110.1  | 19     | 956.4  | 12.4   | 173.9  | 80.3   | 14.8253651 | 0.75742786 | 7.13848065 | 0.53981424 | 0.29266899 | 36.2222787  | 0.63181923  | 0.0325     | 0.325      | 18.2546921 | 41.7753222 | 0.06035869 | 2.93904759 | 0.00517366 | 0.5710149  | 2.6    | 13    | 46     |
| F117C2  | 529.1  | 3287.7 | 852.7  | 80.2   | 17.3   | 891.4  | 13.1   | 202.6  | 60.8   | 12.4342289 | 0.77937013 | 7.26290441 | 0.53308995 | 0.34753906 | 29.9066462  | 0.60953922  | 0.0325     | 0.325      | 14.7630528 | 31.4169186 | 0.0325     | 5.17346198 | 0.00639709 | 0.195      | 2.6    | 12.2  | 48     |
| F117D1  | 305.6  | 3523.9 | 847.5  | 110.5  | 16     | 838.7  | 11.5   | 164.7  | 65.2   | 12.439522  | 0.63321359 | 6.25622162 | 0.56313223 | 0.13       | 36.3735821  | 0.42446013  | 0.0325     | 0.325      | 17.6138594 | 48.5473949 | 0.06578395 | 2.10209548 | 0.00699409 | 0.75203616 | 3.3    | 13.8  | 45     |
| F118A1  | 299.2  | 3484.5 | 898.1  | 86.6   | 16.8   | 839.1  | 11.5   | 161.1  | 45.7   | 7.67660651 | 0.707705   | 5.9766678  | 0.58895158 | 0.13       | 29.701962   | 0.4953539   | 0.0325     | 0.325      | 12.2289732 | 25.5765698 | 0.07200981 | 1.83796863 | 0.00631644 | 1.61945917 | 2.9    | 9     | 47     |
| F119D1  | 302.9  | 4216.8 | 1003.6 | 97.7   | 19     | 734.2  | 9.5    | 161.1  | 50.9   | 9.3015139  | 0.70854705 | 6.44533851 | 0.325      | 0.2006418  | 32.4393198  | 0.46944     | 0.0325     | 0.325      | 12.7152678 | 24.5481022 | 0.10181029 | 2.45235385 | 0.00702782 | 0.76848867 | 3      | 9.1   | 60     |
| F132A1  | 551.2  | 3326.5 | 878.7  | 76.5   | 17.9   | 823.3  | 11.7   | 210.6  | 59.8   | 12.5906633 | 0.917153   | 7.69514306 | 0.58909995 | 0.33858025 | 31.3295179  | 0.64631736  | 0.0325     | 0.325      | 14.8698375 | 30.0013941 | 0.07444237 | 4.60467134 | 0.00674482 | 0.64050727 | 2.5    | 10.9  | 49     |
| F132B1  | 285.7  | 3535   | 832.8  | 91.9   | 14.6   | 743.6  | 12.7   | 157.1  | 49.3   | 9.72196219 | 0.79446534 | 6.54920103 | 0.62188227 | 0.25994885 | 38.8768914  | 0.44574986  | 0.08504919 | 0.325      | 13.0591367 | 33.1668034 | 0.0325     | 3.01581696 | 0.00816909 | 0.6075913  | 3      | 11.3  | 57     |
| F132C1  | 694.1  | 2800.9 | 807.9  | 72.9   | 21.6   | 863.4  | 21.7   | 236.5  | 47.9   | 9.97810361 | 1.25905876 | 7.21365474 | 0.58430005 | 0.29449323 | 34.132736   | 0.48758143  | 0.12553469 | 0.72221366 | 9.58084632 | 19.475641  | 0.05012522 | 3.73388046 | 0.00650948 | 1.27206439 | 2.6    | 10    | 72     |
| F132D1  | 295.7  | 3531.9 | 628.7  | 76     | 13.9   | 673.3  | 14.2   | 180.1  | 44.7   | 6.41093683 | 0.70610764 | 5.28176114 | 0.325      | 0.13       | 30.9730046  | 0.35738029  | 0.0325     | 0.325      | 10.1173655 | 21.935925  | 0.0325     | 1.79095821 | 0.00632518 | 0.56918599 | 2.3    | 7.8   | 44     |
| F133A1  | 371.5  | 3136.6 | 981    | 85.6   | 17     | 621.8  | 12.1   | 188.8  | 49.3   | 8.466156   | 0.67072845 | 6.85621091 | 0.325      | 0.13       | 31.183483   | 0.46307611  | 0.0325     | 0.325      | 12.3033085 | 24.9947506 | 0.06468198 | 2.102869   | 0.00663707 | 1.1869108  | 2.8    | 9.8   | 49     |
| F133B1  | 328.9  | 3526.6 | 952.7  | 87.5   | 12.5   | 750    | 11.6   | 160.5  | 42.2   | 8.47049959 | 0.8028797  | 6.97546498 | 1.03242403 | 0.21818632 | 28.9110514  | 0.44385867  | 0.0325     | 0.325      | 11.1415288 | 23.2001737 | 0.08774615 | 2.21273413 | 0.00876873 | 1.12297048 | 2.9    | 10    | 49     |
| F133D1  | 406.2  | 2875.9 | 859.2  | 66.4   | 17.7   | 691.5  | 14.7   | 173.4  | 37.6   | 7.64591673 | 0.92412949 | 7.57620649 | 0.57109866 | 0.23337769 | 26.7171225  | 0.38484594  | 0.0325     | 0.325      | 10.1738353 | 22.0741649 | 0.12608354 | 2.3511941  | 0.01051481 | 1.48589671 | 2.5    | 11.4  | 49     |
| F134A2  | 272.1  | 3489.5 | 978.8  | 87.2   | 14.9   | 711.9  | 11.1   | 147.7  | 39     | 8.42575466 | 0.69325465 | 5.73684362 | 0.57465964 | 0.13       | 31.9621284  | 0.4094483   | 0.0325     | 0.325      | 10.4623637 | 20.763867  | 0.08225139 | 2.40133581 | 0.0072228  | 0.86817076 | 2.6    | 9.4   | 32     |
| F147A1  | 759.3  | 3562.1 | 2942.7 | 65.8   | 15.3   | 594.4  | 21.3   | 723.5  | 46.4   | 8.90791804 | 1.14649155 | 7.31114119 | 0.54779969 | 0.19860208 | 38.3063584  | 0.40967334  | 0.06140385 | 0.325      | 11.3391738 | 25.1269663 | 0.12673876 | 2.97796547 | 0.00796543 | 0.64782157 | 2.1    | 6.3   | 37     |
| F147B1  | 598.5  | 3199.6 | 3272.3 | 40.4   | 20.6   | 559.2  | 20.4   | 907.8  | 34.6   | 5.24305909 | 1.5520982  | 10.0779982 | 1.78636436 | 0.25402409 | 30.01498014 | 0.51312366  | 0.11988875 | 2.6889978  | 18.7844155 | 32.5862444 | 0.0325     | 3.82051835 | 0.00641591 | 0.55455445 | 1.6    | 6.5   | 35     |
| F147C1  | 259.4  | 2432.8 | 656.4  | 62.4   | 9.9    | 555.6  | 20.1   | 180.5  | 31.1   | 7.78007535 | 1.43876329 | 6.64031835 | 0.57836987 | 0.13       | 45.5167676  | 0.36961617  | 0.07995383 | 0.83828494 | 5.29802246 | 11.6285665 | 0.0325     | 1.56619693 | 0.0065966  | 0.38625415 | 2      | 5.5   | 45     |
| F148A1  | 424.8  | 2465.5 | 1142.7 | 29.2   | 19.2   | 599.6  | 19.4   | 362.2  | 33.4   | 5.70163751 | 1.90444344 | 16.5811105 | 0.70541248 | 0.2769706  | 29.5185432  | 0.39324759  | 0.0325     | 2.33991891 | 7.47338799 | 7.82294215 | 0.0325     | 3.95868476 | 0.01312639 | 0.195      | 2      | 11.4  | 38     |
| F148D1  | 2643.8 | 5551   | 617.6  | 111.9  | 57.6   | 981.8  | 15.7   | 635.3  | 74     | 16.0230198 | 2.04654609 | 20.4193204 | 2.72519479 | 0.25211505 | 54.0485009  | 0.76646037  | 0.07919693 | 2.0834766  | 32.397928  | 94.3084429 | 0.0325     | 4.71944742 | 0.00893833 | 1.29279402 | 2.3    | 11.1  | 53     |
| F149C1  | 1723.9 | 3504.4 | 787.7  | 24.5   | 33.6   | 744.4  | 19.1   | 615    | 49.4   | 11.9318155 | 2.33517787 | 18.8589989 | 0.54239904 | 0.24461183 | 33.4103137  | 0.45411722  | 0.07267253 | 1.79196707 | 14.4324453 | 11.2757361 | 0.08868227 | 3.73989391 | 0.00900479 | 1.7818835  | 1.5    | 10    | 44     |
| F135D1  | 222.3  | 1678.9 | 829.7  | 16.1   | 9.5    | 391.7  | 26     | 229.4  | 19.8   | 2.93640104 | 1.15755955 | 6.89260564 | 0.325      | 0.2907095  | 15.3348905  | 0.28214819  | 0.0325     | 0.73721263 | 3.76462825 | 4.60864487 | 0.0325     | 2.9137947  | 0.00612059 | 0.79773594 | 1.3    | 6.8   | 47     |
| F136C1  | 216.4  | 4109   | 971.7  | 94.9   | 14.8   | 894.9  | 13.6   | 140.5  | 63.3   | 13.751977  | 0.87225852 | 9.00590871 | 0.72629751 | 0.28382531 | 29.1793171  | 0.46837194  | 0.07361023 | 0.60127956 | 15.9112918 | 26.8202527 | 0.05789358 | 5.85529318 | 0.01140201 | 1.2763626  | 2.3    | 8.1   | 46     |
| F150B1  | 268.7  | 2446.1 | 891.7  | 57.4   | 12.7   | 604.8  | 15.5   | 196.5  | 36     | 7.47999113 | 0.85406717 | 6.68842363 | 0.56521616 | 0.25385813 | 23.9106448  | 0.40919531  | 0.0325     | 0.60180002 | 7.78489806 | 14.861672  | 0.0325     | 3.37553194 | 0.00976024 | 0.68256272 | 1.9    | 7     | 51     |
| F151D1  | 263.9  | 2518.9 | 884.5  | 50.1   | 11     | 570.3  | 17.9   | 178.9  | 31.7   | 9.96929889 | 1.77799928 | 9.06625439 | 0.56467527 | 0.30063753 | 28.5016539  | 0.48856558  | 0.05947636 | 0.76902543 | 6.89539867 | 26.4071564 | 0.06885306 | 3.14429444 | 0.00849986 | 2.44134911 | 1.8    | 6.1   | 44     |
| F153C1  | 448.8  | 2158.4 | 724.8  | 53.3   | 13.6   | 611.2  | 17     | 167    | 39.5   | 12.8769685 | 1.59241259 | 7.37420822 | 0.325      | 0.27194552 | 23.7462595  | 0.53588025  | 0.06293223 | 0.665728   | 6.78070384 | 15.1497951 | 0.0325     | 2.80783132 | 0.00958785 | 0.79480015 | 1.8    | 7     | 79     |
| F153D1  | 723.5  | 2636.1 | 635.4  | 30.1   | 30.6   | 810    | 11.8   | 251.7  | 49.6   | 8.4259551  | 1.16967021 | 7.15432519 | 0.79167647 | 0.91345605 | 22.3322976  | 0.99454799  | 0.09636775 | 1.21041789 | 8.23992422 | 10.2232781 | 0.08162396 | 4.585625   | 0.00973196 | 0.83794753 | 1.9    | 11.6  | 90     |
| F154A1  | 278.6  | 3936.7 | 810.6  | 89.2   | 19.2   | 747.3  | 12.2   | 193.7  | 59.5   | 9.23595459 | 0.77971671 | 6.77059902 | 0.62957863 | 0.26063599 | 39.062559   | 0.49625054  | 0.0325     | 0.5536478  | 13.1185854 | 27.2493507 | 0.07753606 | 0.34023691 | 0.00797896 | 0.26181385 | 1.7    | 7.6   | 49     |
| F154A2  | 243.2  | 3461.7 | 890.2  | 80.1   | 16.7   | 629.1  | 11.7   | 202    | 46.4   | 7.9825839  | 0.65453541 | 5.8160541  | 0.325      | 0.25986632 | 28.7784615  | 0.45783562  | 0.0325     | 0.325      | 11.4621141 | 23.2859017 | 0.05792826 | 3.44044906 | 0.00785405 | 3.37965571 | 1.8    | 8.1   | 50     |
| E049C1  | 1665.4 | 5616.8 | 481.5  | 46.8   | 50.4   | 1052.7 | 11.2   | 194.2  | 49.7   | 10.4170428 | 1.47812512 | 15.5755666 | 0.69544772 | 0.67013217 | 49.2543678  | 0.101640359 | 0.141921   | 0.89966688 | 16.652277  | 26.1706341 | 0.10502209 | 3.90345205 | 0.01442492 | 0.51065669 | 1.7    | 10.5  | 66     |
| E062A1  | 2286.1 | 5563.7 | 530.4  | 45.5   | 40.2   | 854.3  | 9.2    | 243.3  |        |            |            |            |            |            |             |             |            |            |            |            |            |            |            |            |        |       |        |



## ANEXO 2

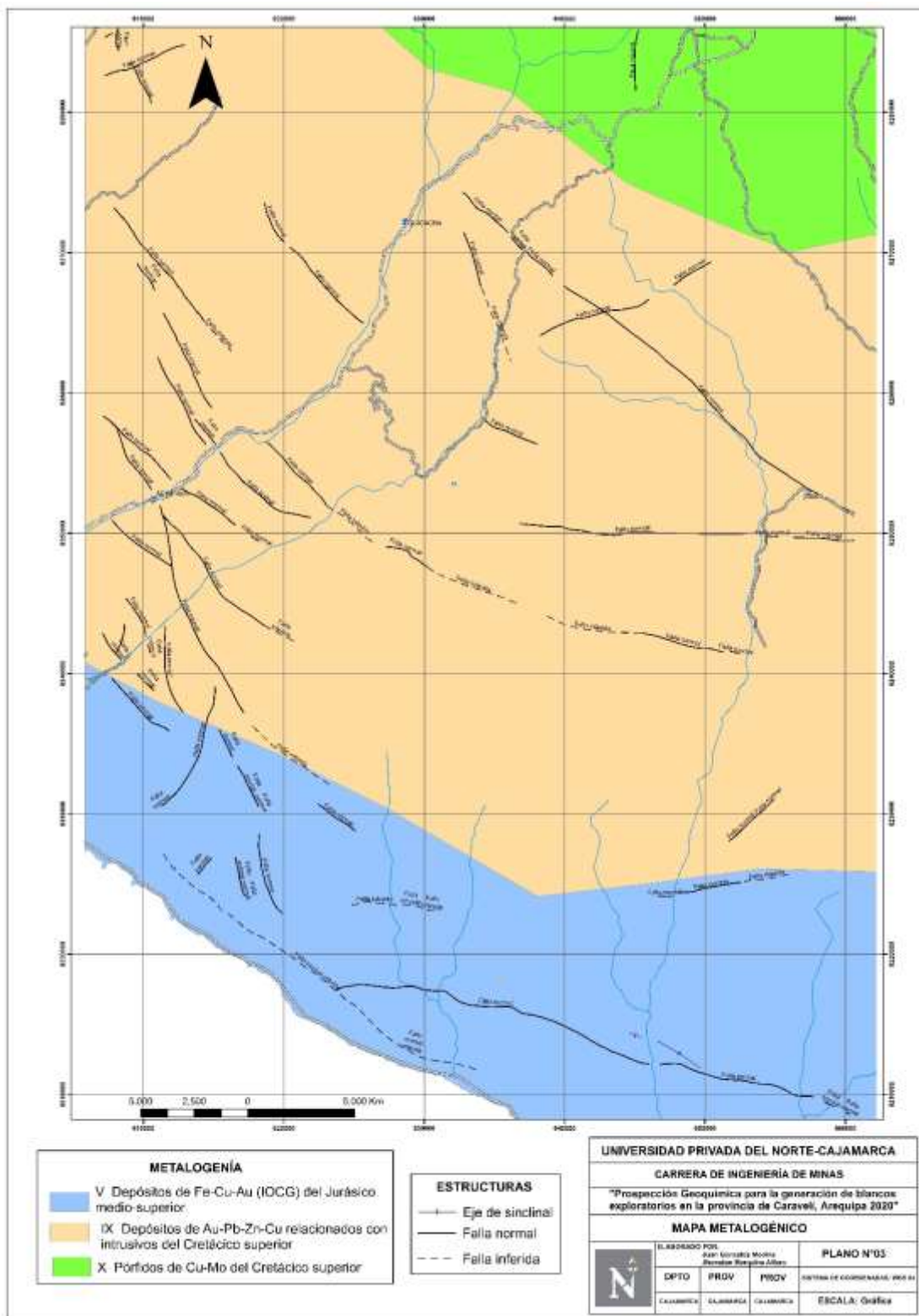


Figura 20. Mapa metalogénico de la zona de estudio.

### ANEXO 3

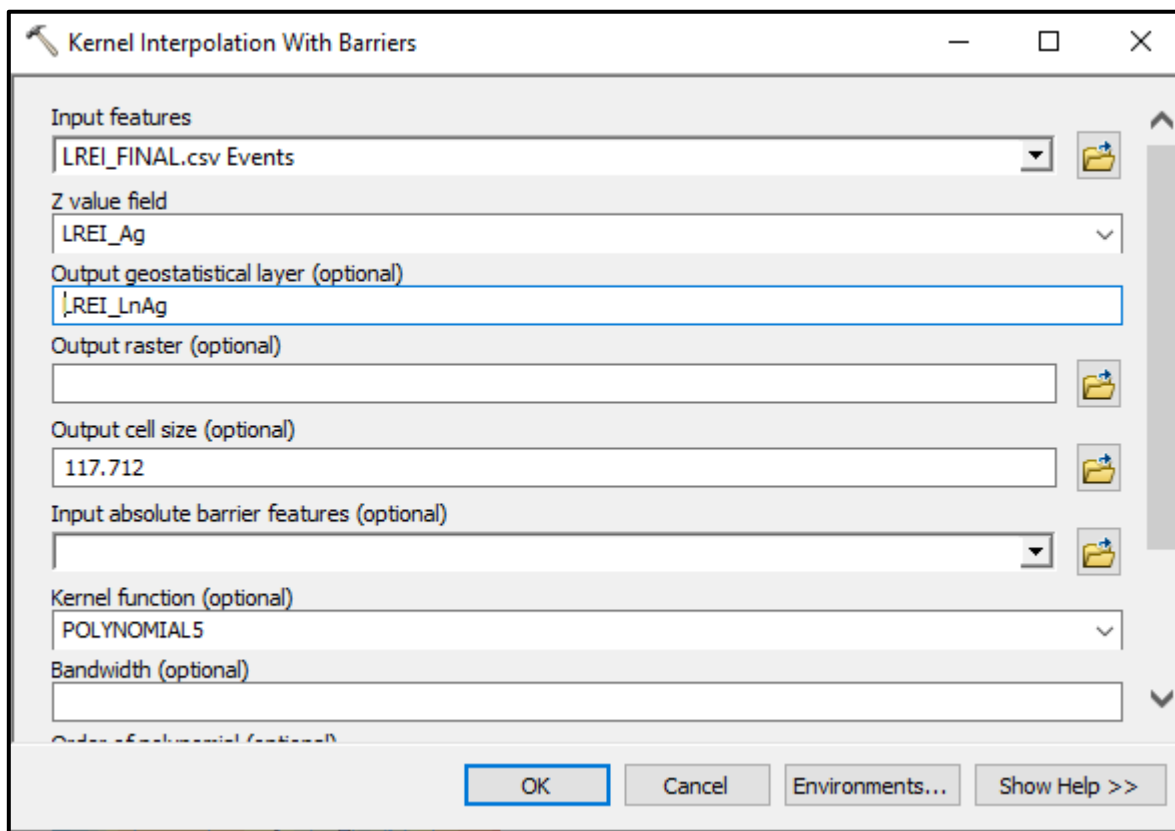


Figura 21. Procedimiento para calcular los valores anómalos.

#### ANEXO 4

| LnCu       | Ventana | LREI        | Mediana | MedianaLnC | LREI_LnCu   |
|------------|---------|-------------|---------|------------|-------------|
| 3.5204608  | 17      | 0.59433962  | 21.2    | 3.054      | 0.15273766  |
| 2.99071973 | 17      | -0.06132075 | 21.2    | 3.054      | -0.02072045 |
| 3.41114771 | 25      | 0.40930233  | 21.5    | 3.0681     | 0.11181112  |
| 3.47506723 | 25      | 0.50232558  | 21.5    | 3.0681     | 0.13264471  |
| 3.2308044  | 25      | 0.17674419  | 21.5    | 3.0681     | 0.05303099  |
| 3.3068867  | 25      | 0.26976744  | 21.5    | 3.0681     | 0.07782885  |
| 2.8094027  | 25      | -0.22790698 | 21.5    | 3.0681     | -0.08431841 |
| 2.94443898 | 25      | -0.11627907 | 21.5    | 3.0681     | -0.04030541 |
| 2.8507065  | 25      | -0.19534884 | 21.5    | 3.0681     | -0.07085607 |
| 2.77258872 | 25      | -0.25581395 | 21.5    | 3.0681     | -0.09631736 |
| 2.82137889 | 25      | -0.21860465 | 21.5    | 3.0681     | -0.08041495 |
| 2.94443898 | 25      | -0.11627907 | 21.5    | 3.0681     | -0.04030541 |
| 2.88480071 | 25      | -0.16744186 | 21.5    | 3.0681     | -0.05974358 |
| 2.68102153 | 25      | -0.32093023 | 21.5    | 3.0681     | -0.12616227 |
| 3.07269331 | 25      | 0.00465116  | 21.5    | 3.0681     | 0.00149712  |
| 2.63188884 | 25      | -0.35348837 | 21.5    | 3.0681     | -0.14217632 |
| 2.83321334 | 25      | -0.20930233 | 21.5    | 3.0681     | -0.07655769 |
| 2.52572864 | 25      | -0.41860465 | 21.5    | 3.0681     | -0.1767776  |
| 2.87356464 | 25      | -0.17674419 | 21.5    | 3.0681     | -0.06340581 |
| 2.70136121 | 25      | -0.30697674 | 21.5    | 3.0681     | -0.11953287 |
| 2.72785283 | 25      | -0.28837209 | 21.5    | 3.0681     | -0.11089833 |
| 3.02529108 | 25      | -0.04186047 | 21.5    | 3.0681     | -0.01395291 |
| 2.29253476 | 25      | -0.53953488 | 21.5    | 3.0681     | -0.25278356 |
| 2.95491028 | 25      | -0.10697674 | 21.5    | 3.0681     | -0.03689245 |
| 4.05352257 | 25      | 1.67906977  | 21.5    | 3.0681     | 0.32118333  |
| 3.51452607 | 25      | 0.5627907   | 21.5    | 3.0681     | 0.14550571  |
| 2.2512918  | 17      | -0.55188679 | 21.2    | 3.054      | -0.26283831 |
| 2.69462718 | 17      | -0.30188679 | 21.2    | 3.054      | -0.11767283 |
| 2.54160199 | 17      | -0.4009434  | 21.2    | 3.054      | -0.16777931 |
| 2.39789527 | 17      | -0.48113208 | 21.2    | 3.054      | -0.21483455 |
| 2.61006979 | 17      | -0.35849057 | 21.2    | 3.054      | -0.14536025 |
| 3.42100001 | 17      | 0.44339623  | 21.2    | 3.054      | 0.12017027  |
| 2.95491028 | 17      | -0.09433962 | 21.2    | 3.054      | -0.03244588 |
| 2.81540872 | 17      | -0.21226415 | 21.2    | 3.054      | -0.07812419 |
| 3.91999118 | 40      | 0.52496218  | 33.05   | 3.4976     | 0.120766    |
| 3.693867   | 40      | 0.21633888  | 33.05   | 3.4976     | 0.05611476  |
| 3.35689712 | 40      | -0.13161876 | 33.05   | 3.4976     | -0.04022841 |

Figura 22. Cálculo de LREI a distintos elementos.